



KERNFORSCHUNGSANLAGE JÜLICH GmbH

**Programmgruppe Systemforschung und
Technologische Entwicklung**

Angewandte Systemanalyse

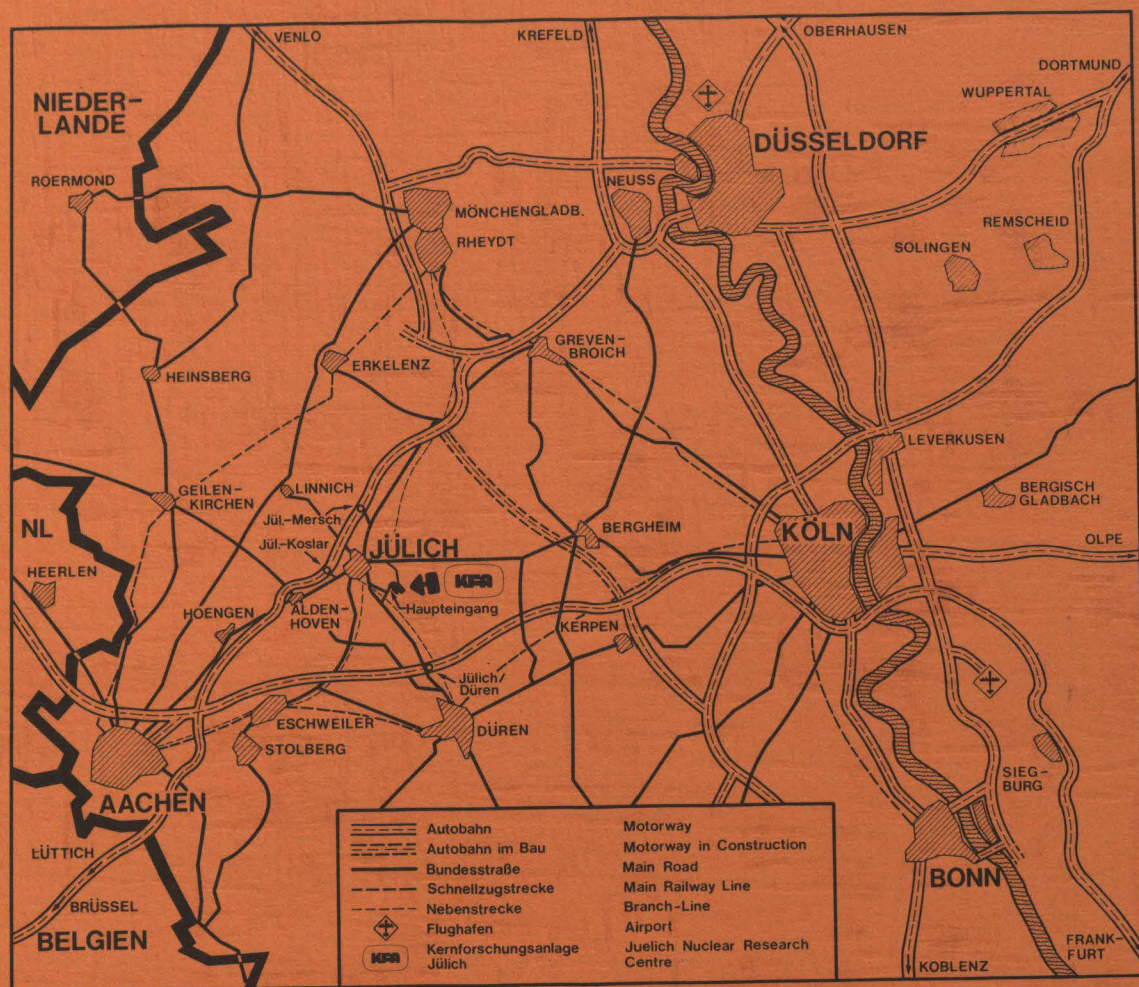
Nr. 33

**Bestimmung des thermischen Verhaltens
von zwei Thermosiphonanlagen**

von

F. Späte

**Jül – Spez – 194
Februar 1983
ISSN 0343-7639**



Als Manuskript gedruckt

Spezielle Berichte der Kernforschungsanlage Jülich – Nr. 194

Programmgruppe Systemforschung und Technologische Entwicklung Jül – Spez – 194

Zu beziehen durch: ZENTRALBIBLIOTHEK der Kernforschungsanlage Jülich GmbH

Postfach 1913 · D-5170 Jülich (Bundesrepublik Deutschland)

Telefon: 02461/610 · Telex: 833556 kfa d

Angewandte Systemanalyse

Nr. 33

Bestimmung des thermischen Verhaltens von zwei Thermosiphonanlagen

von

F. Späte

Abstract

Two commercially available thermosyphon systems, i.e. flat plate collector solar system for domestic hot water with natural circulation are investigated and compared. The two systems are:

1. A pressurized system including a Meander type collector (area 1,5 m²) and a 110 l storage tank.
2. A pressurefree system including two parallel tube collectors connected in parallel (total area 1,75 m²) and a 200 l storage tank.

A method is developed and used to predict and hence compare the temperatures in a thermosyphon and the thermosyphonic flow. This method uses only a few parameters as solar radiation, ambient temperature, system dimensions, collector- and tank-parameters. Only by temperature measurements the collector- and tank-parameters can be determined.

The calculations are in agreement with the experimental measurements, which are processed by a data processing system. In both cases the thermosyphon system temperatures, including the temperature distribution in the storage tank are calculated and measured. For example on a clear day with an incident solar radiation of 6,75 kWh/m² (10. June 1982) average tank temperatures of 51 °C and 44 °C with thermosyphonic mass flow rates of about 5 g/s and 35 g/s were calculated and are in excellent agreement with experimental data.

Further the reverse thermosyphon flow, the time response and a comparison between single and double glass cover were treated. The behaviour of the systems by withdrawal of water is investigated, where two different profiles are simulated yielding an efficiency of 42 % and 47 %.

Since the tested systems are destined for the use in Egypt, a simple cost analysis is made to estimate the economy of thermosyphon systems in comparison to the conventional gas boiler in the market there.

Kurzfassung

In der Arbeit werden zwei kommerziell erhältliche Thermosiphonanlagen, i.e. Flachkollektor-Solarsystem zur Brauchwassererwärmung mit Schwerkraftumlauf, untersucht und verglichen. Es handelt sich um

- ein Drucksystem mit Mäanderkollektor (Fläche $1,5 \text{ m}^2$) und 110 l Speichervolumen und
- ein druckloses System mit zwei parallel geschalteten Parallelrohrkollektoren (Gesamtfläche $1,75 \text{ m}^2$) und 200 l Speichervolumen.

Es wird ein Weg aufgezeigt, aus wenigen ortsspezifischen (Solarstrahlung, Lufttemperatur) und systemspezifischen Größen (Systemabmessungen, Kollektor und Tankkennwerte)

- die Temperaturen in einem Thermosiphonsystem sowie
- den thermosiphonischen Fluß theoretisch zu bestimmen.

Die notwendigen meteorologischen Daten sowie an den Thermosiphonsystemen ausschließlich Temperaturen, insbesondere die Tankschichtung, werden von einer Datenerfassungsanlage aufgenommen und verarbeitet. Der Vergleich der experimentellen mit den theoretischen Werten ergibt sehr gute Übereinstimmungen. An einem klaren Tag mit einer auftreffenden Solarenergie von $6,75 \text{ kWh/m}^2$ (10. Juni 1982) wurden in den zwei Testanlagen mittlere Tanktemperaturen von $51 \text{ }^\circ\text{C}$ bzw. $44 \text{ }^\circ\text{C}$ bei einem thermosiphonischen Fluß von 5 g/s bzw. 35 g/s erreicht.

Darüberhinaus wird der umgekehrte thermosiphonische Effekt, das Zeitverhalten der Systeme sowie ein Vergleich zwischen Einzelglas- und Doppelglasabdeckung behandelt. Ferner wird das Verhalten der Systeme bei Entnahme untersucht, wobei zwei verschiedene Verbrauchsprofile simuliert werden. Dabei beträgt der Wirkungsgrad der Systeme 42% bzw. 47% .

Da die beiden Testanlagen für den Einsatz in Ägypten bestimmt sind, wird eine kurze Wirtschaftlichkeitsbetrachtung durchgeführt, die abschätzt, inwieweit Thermosiphonanlagen in Ägypten mit dem konventionellen Gasboiler konkurrieren können.

INHALTSVERZEICHNIS

	Seite
1 EINLEITUNG	1
2 DER THERMOSIPHONISCHE EFFEKT	4
2.1 Prinzip des Thermosiphons	4
2.2 Bestimmung der mittleren Tanktemperatur T_m während der Zeit der Einstrahlung	5
2.3 Der Temperaturverlauf während der Nacht	10
2.4 Bestimmung des thermosiphonischen Flusses \dot{m}	11
2.5 Bestimmung weiterer Temperaturen im System - das Temperaturverteilungsdiagramm	14
2.6 Der umgekehrte thermosiphonische Effekt	15
3 AUFBAU UND DURCHFÜHRUNG DES EXPERIMENTS	18
3.1 Die aufgebauten Thermosiphonanlagen	18
3.1.1 Das Thermosiphonsystem von Mildebrath (System MB)	18
3.1.2 Das Thermosiphonsystem von Camphausen (System C)	23
3.1.3 Vergleich der Konstruktionen	28
3.2 Die Messungen	31
3.2.1 Die Meßeinrichtungen an den Thermosiphonsystemen	31
3.2.1.1 Die Anordnung der Meßfühler	31
3.2.1.2 Die verwendeten Meßfühler	32
3.2.2 Messung der Umgebungstemperatur T_u	36
3.2.3 Messung der Solarstrahlung S	37
3.2.4 Messung der Windgeschwindigkeit v_w	40
3.3 Die Meßschaltung	40
3.4 Datenerfassung und Datenverarbeitung	43
3.4.1 Hardware	43
3.4.2 Software	47
3.5 Meßfehler	49

	Seite
4 AUSWERTUNG	53
4.1 Bestimmung der mittleren Tanktemperatur T_m	53
4.1.1 Der zeitliche Verlauf der Solarstrahlung S	53
4.1.2 Der zeitliche Verlauf der Umgebungstemperatur T_u	55
4.1.3 Bestimmung des Wärmeverlustkoeffizienten für den Tank U_T	56
4.1.4 Das HWB-Kollektormodell	59
4.1.4.1 Das Produkt $(\tau\alpha)$	59
4.1.4.2 Der Kollektorwirkungsgrad	61
4.1.4.3 Die Kollektorkennwerte F' und U_L	61
4.1.5 Der zeitliche Verlauf der mittleren Tanktemperatur T_m und der Erhöhung der Tanktemperatur dT_m/dt während der Zeit der Einstrahlung	67
4.1.6 Der zeitliche Verlauf der mittleren Tanktemperatur T_m während der Nacht	72
4.2 Bestimmung des thermosiphonischen Flusses \dot{m}	76
4.2.1 Die Bestimmung des thermosiphonischen Flusses aus den Meßwerten	76
4.2.2 Die Bestimmung des thermosiphonischen Flusses nach Gl. (2-30)	78
4.2.3 Der umgekehrte thermosiphonische Fluß	87
4.3 Die Temperaturverteilung im Thermosiphon	91
4.4 Wirkungsgrad und Zeitverhalten	97
4.4.1 Der Systemwirkungsgrad ohne Entnahme	97
4.4.2 Vergleich Einzelscheibe - Doppelscheibe (System MB)	101
4.4.3 Das Zeitverhalten der Systeme	102
4.5 Verhalten der Systeme bei Entnahme	105
4.5.1 Verbrauchsprofil 1 vom 14.7.82	109
4.5.2 Verbrauchsprofil 2 vom 15.7.82	111
4.5.3 Der Systemwirkungsgrad	113
4.6 Wirtschaftlichkeit - Vergleich mit konventionellen Systemen	117

	Seite
5 DISKUSSION UND AUSBLICK	123
6 ZUSAMMENFASSUNG	125
7 NOMENKLATUR	128
8 LITERATURVERZEICHNIS	132
ANHANG	137
A PROGRAMME	138
B MESSDATEN	145

1 EINLEITUNG

Nach der Ölkrise von 1973 wurden mehr und mehr Überlegungen angestellt, wie man der Abhängigkeit vom Öl entrinnen kann. Dabei ging man neben der Förderung der Kernenergie auch dazu über, die Nutzbarkeit regenerativer Energien, wie Wind-, Wasser- und Sonnenenergie, zu erforschen und diese Energien auszunutzen. Dies ist natürlich besonders für die ärmeren Länder der Erde interessant, da es gerade für diese zunehmend schwieriger wird, den steigenden Preis für Öl aufzubringen. Weil die meisten armen und ärmsten Länder in sonnenreichen Gebieten der Erde liegen, bietet sich die Ausnutzung besonders der Solarenergie an.

Es gibt prinzipiell zwei Möglichkeiten, die Sonnenenergie zu nutzen:

- 1) solarelektrisch, i.e. die Umwandlung der Solarenergie in elektrische Energie, z.B. mit Solarzellen oder Sonnenkraftwerken
- 2) solarthermisch, i.e. die Umwandlung der Solarenergie in Wärmeenergie, z.B. mit Flachkollektoren.

Letzteres wird in Thermosiphonanlagen angewendet. Diese sind besonders einfache Anlagen, um die Solarenergie zur Warmwasserbereitung zu nutzen. Abb. 1 zeigt den Aufbau einer solchen Anlage. Sie besteht im wesentlichen aus drei Komponenten:

- dem Kollektor,
- dem Tank oder Speicher und
- den verbindenden Rohrleitungen.

Merkmal dieser Systeme ist, daß der Tank höher steht als der Kollektor. Daher reicht allein die Solarstrahlung aus, das Wasser im Tank zu erwärmen (Schwerkraftumlauf). Es werden also keine Zusatzaggregate, wie z.B. Pumpen, benötigt. Das macht diese Anlagen sowohl einfach als auch preiswert, womit sie für die bereits erwähnten ärmeren Länder sonnenreicher Regionen sehr interessant werden.

Das Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, zwei Thermosiphonanlagen, die im Rahmen eines deutsch-ägyptischen Projektes für Ägypten bestimmt sind, auf ihr thermisches Verhalten zu unter-

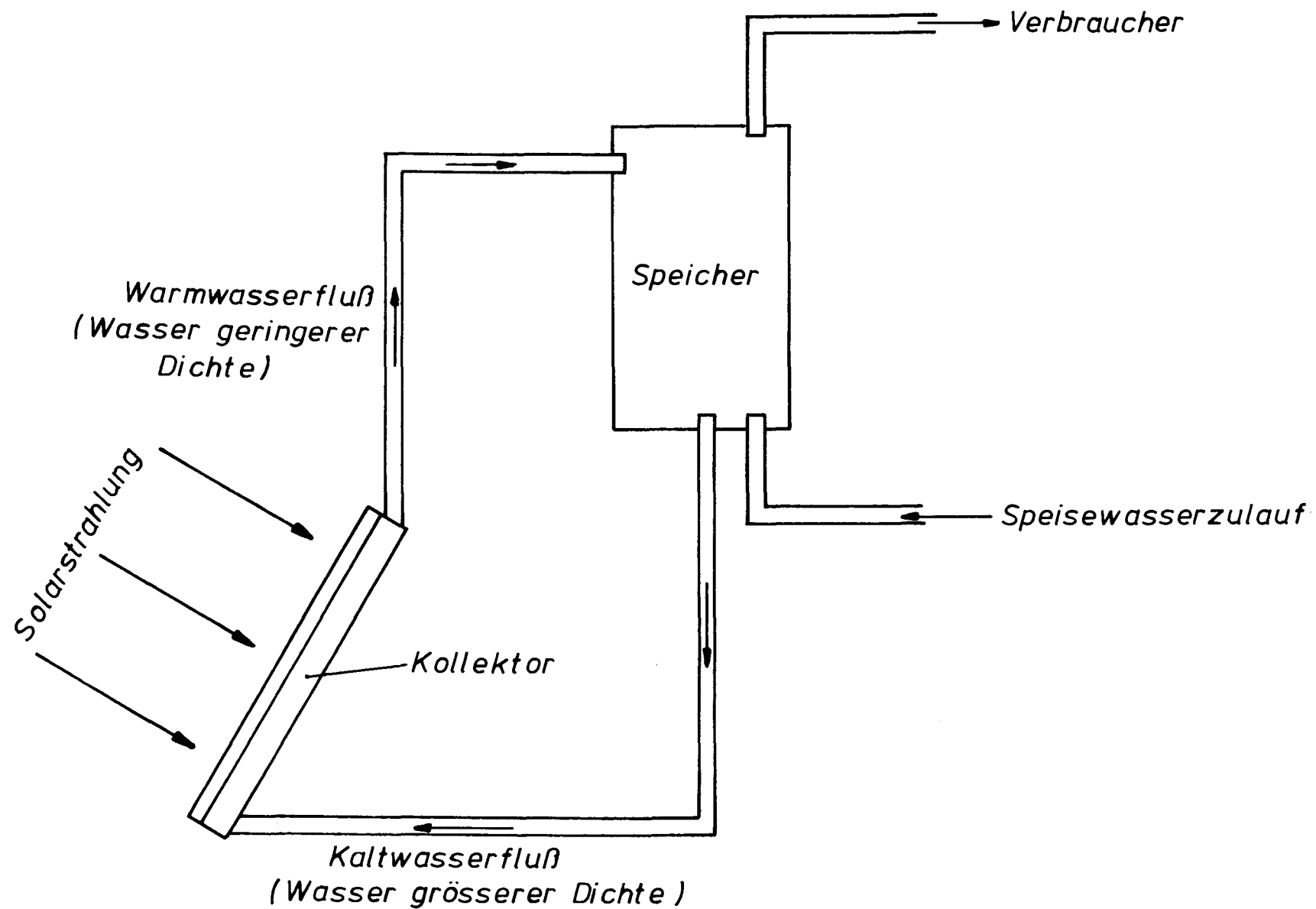


Abb. 1: Der Aufbau eines Thermosiphonsystems

suchen. Dabei wird besonders Wert gelegt auf die Messung der Temperaturschichtung im Tank und die Bestimmung des Systemwirkungsgrades. Ferner sollen die theoretischen Aussagen mit den experimentellen Ergebnissen verglichen werden, um daraus eventuell allgemeine Aussagen über Thermosiphonsysteme herleiten zu können. Die beiden Thermosiphonanlagen wurden von den deutschen Herstellern für Testmessungen in der Kernforschungsanlage Jülich zur Verfügung gestellt, weil die technischen Voraussetzungen für derartige Messungen hier besser sind als in Ägypten, obwohl die klimatischen Bedingungen nicht ohne weiteres übertragbar sind.

Thermosiphonsysteme sind bisher besonders in Israel und Australien untersucht und erfolgreich eingesetzt worden. Als erster veröffentlichte Close 1963 in Australien eine Arbeit über Thermosiphonanlagen /1/. Seither folgten weitere Arbeiten von Gupta und Garg /2/, Chinnery /3/, Shitzer /4/, Morrison und Ranatunga /5/, Sodha und Mwari /6/ u.v.m..

2 DER THERMOSIPHONISCHE EFFEKT

2.1 Prinzip des Thermosiphons

Physikalisch läßt sich der thermosiphonische Effekt mit einem U-Rohr vergleichen, dessen eine Seite erwärmt wird (Abb. 2.1) /7/.

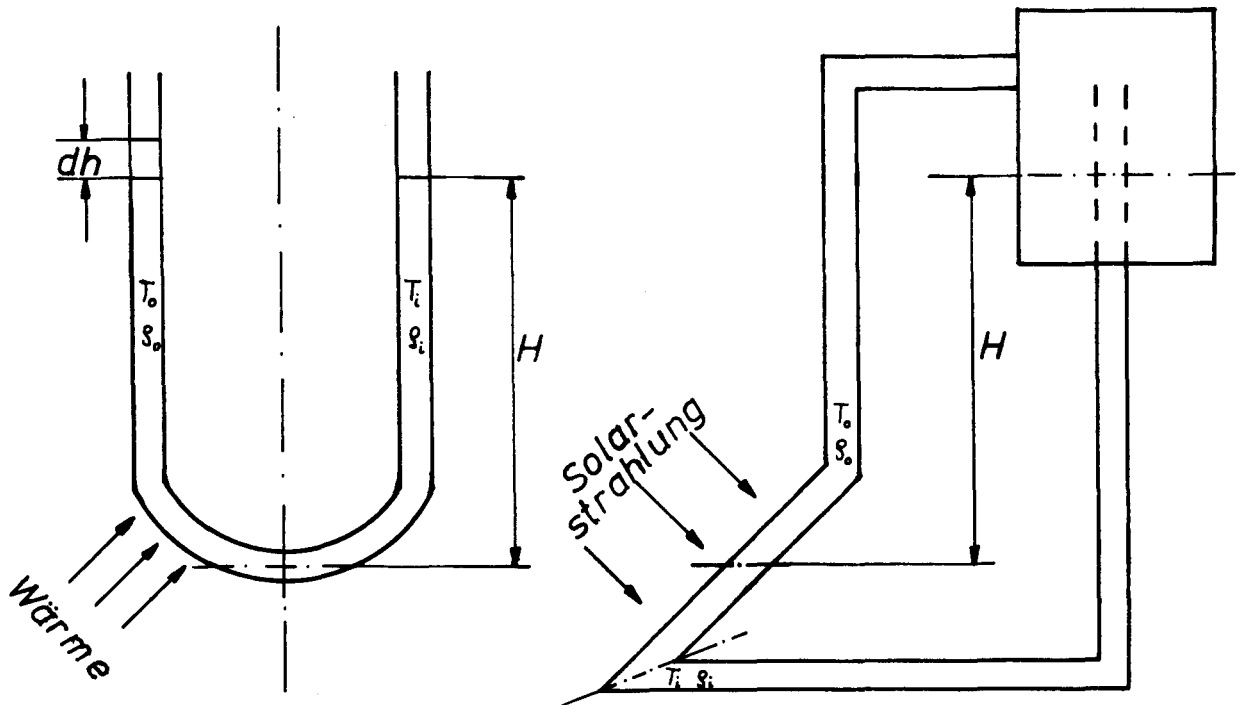


Abb. 2-1: Vergleich U-Rohr - Thermosiphon

Das Fluid (Wasser) dehnt sich aufgrund der Erwärmung in der linken Seite um das Stück dH aus. Es gilt das Volumenausdehnungsgesetz:

$$V_o = A(H+dH) = V_i(1+\beta\Delta T) \quad (2-1)$$

mit A = Querschnittsfläche des Rohres (m^2)

H = Höhe der Wassersäule (m)

V_i = Volumen der rechten Seite (m^3)

β = Volumenausdehnungskoeff. ($1/^\circ C$)

$\Delta T = T_o - T_i$ mit $T_o > T_i$ ($^\circ C$)

Mit dem Volumen ändert sich natürlich auch die Dichte ρ und es gilt in dem hierbei auftretenden Temperaturbereich von 15 °C bis maximal 70 °C in guter Näherung für den Dichtegradienten

$$\rho_o - \rho_i = -\rho_i \beta \Delta T \quad (2-2)$$

Denkt man sich das U-Rohr in der Höhe H abgeschnitten, dann würde das Wasser in der linken Säule überlaufen. Dadurch würde die rechte Säule gegenüber der linken schwerer sein, so daß Wasser von der rechten in die linke Seite strömen würde. In der linken Säule wird das Wasser weiter erwärmt. Folglich läuft wieder etwas Wasser über, wodurch von der rechten Säule wieder etwas nachströmt. Verbindet man die beiden offenen Seiten des U-Rohrs miteinander, dann kann das in der linken Säule überlaufende Wasser in die rechte Säule fließen. Es kommt so zu einem ständigen Fluß, solange ein Temperaturunterschied ΔT bzw. ein Dichteunterschied $\Delta \rho$ zwischen der linken und der rechten Seite besteht. Dies ist der sog. thermosiphonische Effekt, wobei die Verbindung zwischen den beiden U-Rohrschenkeln beim Thermosiphonsystem durch einen Tank bzw. Speicher hergestellt wird. Zur Erwärmung der linken Säule dient ein Sonnenkollektor.

Im folgenden sollen nun die mittlere Temperatur im Tank T_m , die Temperaturerhöhung beim Durchgang durch den Kollektor ΔT_c sowie der thermosiphonische Massenfluß \dot{m} und die Kollektoreintritts- und -austrittstemperaturen T_i und T_o theoretisch bestimmt werden, wobei es möglich sein soll, diese mit Hilfe weniger system- und ortsspezifischer Größen für ein beliebiges Thermosiphonsystem zu berechnen. Ferner soll auch das Problem des umgekehrten thermosiphonischen Effektes angesprochen werden.

2.2 Bestimmung der mittleren Tanktemperatur T_m während der Zeit der Einstrahlung

Ganz allgemein sieht eine Leistungsbilanz folgendermaßen aus:

$$\begin{array}{ccccccc} \text{absorbierte Leistung} & = & \text{Verlustleistung} & + & \text{nutzbare Leistung} \\ \dot{Q}_a & = & \dot{Q}_v & + & \dot{Q}_n \end{array}$$

Für Thermosiphonsysteme kann man diese ganz allgemeine Bilanz nach /1/ aufteilen in eine Leistungsbilanz für den Kollektor bzw. Absorber:

$$\begin{aligned}\dot{Q}_a &= \dot{Q}_{vc} + \dot{m}c_p (T_o - T_i) & (2-3) \\ \text{mit } \dot{Q}_a &= \text{vom Kollektor absorbierte Leistung (W)} \\ \dot{Q}_{vc} &= \text{Verluste des Kollektors (W)} \\ \dot{m} &= \text{Massenstrom durch den Kollektor (kg/s)} \\ c_p &= \text{spezifische Wärmekapazität des Wassers (J/kgK)}\end{aligned}$$

und eine Leistungsbilanz für den Tank:

$$\begin{aligned}\dot{Q}_{nc} &= \dot{m}c_p (T_o - T_i) = \dot{Q}_{vT} + Mc_p \frac{dT_m}{dt} & (2-4) \\ \text{mit } \dot{Q}_{nc} &= \text{Nutzleistung des Kollektors (W)} \\ \dot{Q}_{vT} &= \text{Tankverluste (W)} \\ M &= \text{Masse des Wassers im Tank (kg)} \\ T_m &= \text{mittlere Tanktemperatur (K)} \\ t &= \text{Zeit (s)}\end{aligned}$$

Aus (2-3) und (2-4) ergibt sich die Leistungsbilanz für ein beliebiges Thermosiphonsystem:

$$\dot{Q}_a = \dot{Q}_{vc} + \dot{Q}_{vT} + Mc_p \frac{dT_m}{dt} \quad (2-5)$$

In diesen Gleichungen sind allerdings die Verluste der Rohrleitungen vernachlässigt, wobei davon ausgegangen wird, daß die Rohre gut isoliert sind. Damit kann man die Rohrverluste in guter Näherung gleich Null setzen.

Zieht man die Kollektor- und die Tankverluste zusammen, kann man Gl. (2-5) auch folgendermaßen schreiben:

$$\begin{aligned}\dot{Q}_a &= \dot{Q}_v + Mc_p \frac{dT_m}{dt} & (2-6) \\ \text{mit } \dot{Q}_v &= \dot{Q}_{vc} + \dot{Q}_{vT} = \text{Systemverluste (W)}\end{aligned}$$

Wenn man nun die Systemverluste und die vom Kollektor absorbierte Leistung bestimmt, kann man T_m bestimmen.

a) Das HWB-Kollektormodell

Hottel, Whillier und Bliss /8/9/10/ entwickelten bereits 1942 ein Kollektormodell (HWB-Kollektormodell), mit dem heute praktisch alle Flachkollektoren beschrieben werden. Danach gilt für einen Kollektor:

$$\dot{Q}_{nc} = F' A_c S \left[(\tau \alpha) - U_L \frac{T_a - T_u}{S} \right] \quad (2-7)$$

mit F' = Absorberwirkungsgradfaktor

A_c = Kollektorfläche (m^2)

τ = Gesamttransmissionskoeffizient der Glasabdeckung des Kollektors

α = Absorptionskoeffizient der Beschichtung des Absorbers

U_L = mittlerer Wärmeübergangskoeffizient für den Kollektor (W/m^2K)

T_a = $(T_o + T_i)/2$ = mittlere Fluidtemperatur $(^\circ C)$

T_u = Umgebungstemperatur $(^\circ C)$

S = Solarstrahlung (W/m^2)

Mit dem Kollektorwirkungsgrad η_c wird Gl. (2-7) zu

$$\eta_c = \frac{\dot{Q}_{nc}}{A_c S} = F' \left[(\tau \alpha) - U_L \frac{T_a - T_u}{S} \right] \quad (2-8)$$

Dies ist die gebräuchlichste Form der HWB-Gleichung /11/. In der Praxis sieht es so aus, daß man einen bestimmten Massenstrom \dot{m} durch einen Kollektor schickt und bei einer bestimmten Einstrahlung S eine bestimmte Temperaturerhöhung $\Delta T_c = (T_o - T_i)$ mißt. So erhält man den Kollektorwirkungsgrad η_c . Trägt man diesen gegen $(T_a - T_u)/S$ auf, dann kann man die Kollektorkennwerte F' und U_L bestimmen, wenn das Produkt $(\tau \alpha)$ bekannt ist. Mit diesen beiden Größen ist ein Flachkollektor hinreichend beschrieben.

Für den Kollektor im Thermosiphonsystem gilt diese Gleichung natürlich auch. Wie die Versuche zeigten und auch andere Quellen /1/2/6/ bestätigen, können die mittlere Fluidtemperatur

T_a und die mittlere Tanktemperatur T_m als gleich angesehen werden. Dies gilt allerdings nur während der Zeit der Einstrahlung, also nicht nachts. Damit wird die Kollektorgleichung (2-7) für ein Thermosiphonsystem zu

$$\eta_c A_c S = F' A_c S \left[(\tau \alpha) - U_L \frac{T_m - T_u}{S} \right] = \dot{m} c_p \Delta T_c \quad (2-9)$$

$$\text{mit } T_m = T_a = (T_o + T_i)/2$$

Schreibt man diese Gleichung etwas um, erhält man

$$(\tau \alpha) F' A_c S = U_L F' A_c (T_m - T_u) + \dot{m} c_p (T_o - T_i) \quad (2-10)$$

Dies entspricht Gl. (2-3) mit

$$\dot{Q}_a = (\tau \alpha) F' A_c S \quad (2-11)$$

und

$$\dot{Q}_{vc} = U_L F' A_c (T_m - T_u) \quad (2-12)$$

b) Die Tankverluste \dot{Q}_{vT}

Die Tankverluste werden entsprechend den Kollektorverlusten (Gl. 2-12) durch folgende Gleichung beschrieben:

$$\begin{aligned} \dot{Q}_{vT} &= U_T A_T (T_m - T_u) & (2-13) \\ \text{mit } U_T &= \text{mittlerer Wärmeübergangskoeffizient} \\ &\quad \text{für den Tank} & (W/m^2 K) \\ A_T &= \text{Tankoberfläche} & (m^2) \end{aligned}$$

Mit Gl. (2-11), (2-12) und (2-13) eingesetzt in Gl. (2-6) gilt nun für die Leistungsbilanz eines Thermosiphonsystems:

$$(\tau \alpha) F' A_c S = (U_L F' A_c + U_T A_T) (T_m - T_u) + M c_p \frac{dT_m}{dt} \quad (2-14)$$

oder

$$M c_p \frac{dT_m}{dt} + (U_L F' A_c + U_T A_T) T_m = (\tau \alpha) F' A_c S + (U_L F' A_c + U_T A_T) T_u \quad (2-15)$$

Um diese inhomogene Differentialgleichung 1. Ordnung für T_m zu lösen, muß man zunächst noch die Zeitabhängigkeit von S und T_u beschreiben. Beide Größen kann man angenähert mit Sinusfunktionen ausdrücken /1/:

$$S = S_{\max} \sin \omega_1 t \quad (2-16)$$

wobei ω_1 so gewählt ist, daß $S = S_{\max}$ gegen ca.

14.00 Uhr und das $\int S dt$ über den ganzen Tag gleich der gesamten gemessenen Einstrahlung ist

und

$$T_u = T_{u0} + T_{u1} \sin \omega_2 t \quad (2-17)$$

mit $T_{u0} = T(t=0) = \text{Temperatur zum Zeitpunkt } t=0 \quad (^\circ\text{C})$

$T_{u1} = T(t=t_1) = \text{Temperatur zum Zeitpunkt } t=t_1 \quad (^\circ\text{C})$

ω_2 wird empirisch bestimmt, so daß der theoretische Verlauf der Umgebungstemperatur gleich dem gemessenen ist

(1/s)

Damit wird aus Gl. (2-15)

$$\begin{aligned} \frac{dT_m}{dt} + \frac{U_L F' A_c + U_T A_T}{M c_p} T_m &= \frac{(\tau \alpha) F' A_c S_{\max}}{M c_p} \sin \omega_1 t \\ &+ \frac{U_L F' A_c + U_T A_T}{M c_p} T_{u0} + \frac{U_L F' A_c + U_T A_T}{M c_p} T_{u1} \sin \omega_2 t \end{aligned} \quad (2-18)$$

Setzt man

$$p = \frac{U_L F' A_c + U_T A_T}{M c_p}$$

$$a_1 = \frac{(\tau \alpha) F' A_c S_{\max}}{M c_p}$$

$$a_2 = p T_{u0}$$

$$a_3 = p T_{u1}$$

folgt

$$\frac{dT_m}{dt} = -pT_m + a_1 \sin \omega_1 t + a_2 + a_3 \sin \omega_2 t \quad (2-19)$$

Nun kann man diese Gleichung für T_m lösen:

$$T_m(t) = T_{m0} e^{-pt} + \frac{a_2}{p} (1 - e^{-pt}) + \frac{a_1}{\omega_1^2 + p^2} (p \sin \omega_1 t - \omega_1 \cos \omega_1 t) \\ + \frac{a_1 \omega_1}{\omega_1^2 + p^2} e^{-pt} + \frac{a_3}{\omega_2^2 + p^2} (p \sin \omega_2 t - \omega_2 \cos \omega_2 t) + \frac{a_3 \omega_2}{\omega_2^2 + p^2} e^{-pt} \quad (2-20)$$

Gleichung (2-20) gibt den zeitlichen Verlauf der mittleren Tanktemperatur T_m über die Zeit der Einstrahlung an, wobei T_{m0} die Temperatur zum Zeitpunkt $t = 0$ ist. Sind die Kollektorkennwerte F' , U_L und A_C sowie die Tankgrößen U_T und A_T bekannt, dann kann man T_m für einen beliebigen Verlauf von S und T_u , der ortsabhängig ist, nach (2-20) bestimmen. Mit diesem T_m kann man dann mit Gl. (2-19) auch die Temperaturerhöhung im Tank dT_m/dt berechnen.

2.3 Der Temperaturverlauf während der Nacht

Während der Nacht ist die Einstrahlung $S=0$. Gibt es keinen umgekehrten thermosiphonischen Effekt (s. Kap. 2.6), dann ist auch $(T_o - T_i) = 0$, und damit gilt für die Leistungsbilanz des Systems nach Gl. (2-4) bzw. (2-5) während der Nacht:

$$M c_p \frac{dT_m}{dt} = -\dot{Q}_{vT} \quad (2-21)$$

und mit Gl. (2-13) und (2-17)

$$\frac{dT_m}{dt} = -\frac{U_T A_T}{M c_p} T_m + \frac{U_T A_T}{M c_p} T_{u0} + \frac{U_T A_T}{M c_p} T_{u1} \sin \omega_2 t \quad (2-22)$$

Nach /13/ ergibt sich der Auftriebsdruck Δp_a im Thermosiphon-system zu

$$\Delta p_a = g H \Delta \varrho = g H (\varrho_i - \varrho_o) \quad (2-25)$$

mit g = Erdbeschleunigung (m/s^2)
 H = Höhe der Wassersäule (m)
 $\Delta \varrho$ = Dichtegradient (kg/m^3)
 ϱ_i = Kollektoreintrittsdichte (kg/m^3)
 ϱ_o = Kollektoraustrittsdichte (kg/m^3)

Den Dichtegradienten kann man entsprechend Gl. (2-2) durch die Temperaturerhöhung im Kollektor $\Delta T_c = (T_o - T_i)$ ausdrücken:

$$\Delta \varrho = \varrho_i \beta \Delta T_c$$

Damit ergibt sich für den Auftriebsdruck:

$$\Delta p_a = g H \varrho_i \beta (T_o - T_i) \quad (2-26)$$

Diesem Auftriebsdruck bedingt durch den Dichtegradienten $(\varrho_i - \varrho_o) = \Delta \varrho$ stehen die Strömungsverluste Δp_v bedingt durch Reibungen entgegen. Da in einem Thermosiphonsystem sehr kleine Strömungsgeschwindigkeiten auftreten, handelt es sich um eine laminare Strömung ($Re \ll 2300$). Bei laminaren Strömungen werden die Verluste durch das Gesetz von Hagen-Poiseuille beschrieben

$$\dot{V} = \frac{\pi d^4}{128 \eta l} \Delta p_v \quad (2-27)$$

mit $\dot{V} = \dot{m} / \bar{\varrho}$ = Volumenstrom (m^3/s)
 $\bar{\varrho} = (\varrho_o + \varrho_i)/2$ = mittlere Dichte (kg/m^3)
 d = lichter Rohrdurchmesser (m)
 η = dynamische Viskosität $(kg/m \cdot s)$
 l = Rohrlänge (m)
 Δp_v = Druckverluste (Pa)

Da $\Delta p_v = \Delta p_a$ folgt für den Massenstrom \dot{m}

$$\dot{m} = \frac{g \beta \pi \varrho_i^2 d^4}{128 \eta l} \Delta T_c H (2 - \beta \Delta T_c) \frac{1}{2} \quad (2-28)$$

Da in dem auftretenden Temperaturbereich $\beta \Delta T_c \ll 2$ kann der Term $(2 - \beta \Delta T_c)/2$ vernachlässigt werden. Weitere Näherungen werden gemacht, da sowohl der Volumenausdehnungskoeffizient β als auch die dynamische Viskosität η temperaturabhängige Größen sind. Allerdings können für den bei Thermosiphonsystemen auftretenden Temperaturbereich von 15 °C bis 60 °C (Brauchwasser) in guter Näherung Mittelwerte eingesetzt werden. Ebenso wird im folgenden für die Dichte ρ ; eine mittlere Dichte ρ eingesetzt ohne einen zu großen Fehler zu machen, da sich die Dichte im auftretenden Temperaturbereich nur geringfügig verändert.

Aus der Leistungsbilanz für den Kollektor (Gl. 2-9) ergibt sich eine Temperaturerhöhung im Kollektor zu

$$\Delta T_c = \frac{\eta_c A_c S}{\dot{m} c_p} \quad (2-29)$$

Im Arbeitspunkt des Systems sind \dot{m} und ΔT_c nach Gl. (2-29) gleich, so daß nun für den Massenstrom gilt /14/

$$\dot{m} = \sqrt{\frac{g \beta \pi g^2 d^4}{128 \eta l} \frac{\eta_c A_c S}{c_p} H} \quad (2-30)$$

oder mit Gl. (2-16), (2-17) und (2-9)

$$\dot{m} = \sqrt{\frac{g \beta \pi g^2 d^4}{128 \eta l} \frac{F' A_c}{c_p} \left[(\tau \alpha) S_{\max} \sin \omega_1 t - U_L (T_m - T_{v0} - T_{v1} \sin \omega_2 t) \right] H} \quad (2-31)$$

Da T_m schon bestimmt wurde, wozu ebenfalls die Kollektorkennwerte F' , U_L und $(\tau \alpha)$ herangezogen wurden, kann man nun den thermosiphonischen Fluß berechnen.

2.5 Bestimmung weiterer Temperaturen im System - das Temperaturverteilungsdiagramm

Hat man die mittlere Tanktemperatur T_m und den Massenstrom \dot{m} bestimmt, kann man nun weitere Temperaturen im System berechnen. Nach Gleichung (2-29) ist

$$\Delta T_c = \frac{\eta_c A_c S}{\dot{m} c_p}$$

Da alle Größen auf der rechten Seite der Gleichung bekannt sind, erhält man die Temperaturerhöhung ΔT_c im Kollektor. Damit kann man die Kollektoreintritts- und -austrittstemperatur T_i und T_o bestimmen, denn es gilt:

$$T_i = 2 T_m - T_o \quad (2-32)$$

und

$$T_o = \frac{\eta_c A_c S}{\dot{m} c_p} + T_i$$

$$T_i = T_m - \frac{\eta_c A_c S}{2 \dot{m} c_p} \quad (2-33)$$

und

$$T_o = 2 T_m - T_i = T_m + \frac{\eta_c A_c S}{2 \dot{m} c_p} \quad (2-34)$$

Mit diesen beiden Temperaturen kann man die Temperaturverteilung für ein Thermosiphonsystem angeben, wenn man annimmt, daß das Temperaturgefälle im Tank und entlang des Absorbers linear ist und die verbindenden Rohre keine Verluste haben, d.h. gut isoliert sind. Nach /2/ sind diese Annahmen, die ja auch für die Berechnungen in Kap. 2.2 und 2.3 stillschweigend gemacht wurden, sehr realistisch. Da die Dichte mit zunehmender Temperatur abnimmt, steht das Temperaturverteilungsdiagramm ebenso für die Dichteverteilung im System. Es ergibt sich

folgendes Diagramm:

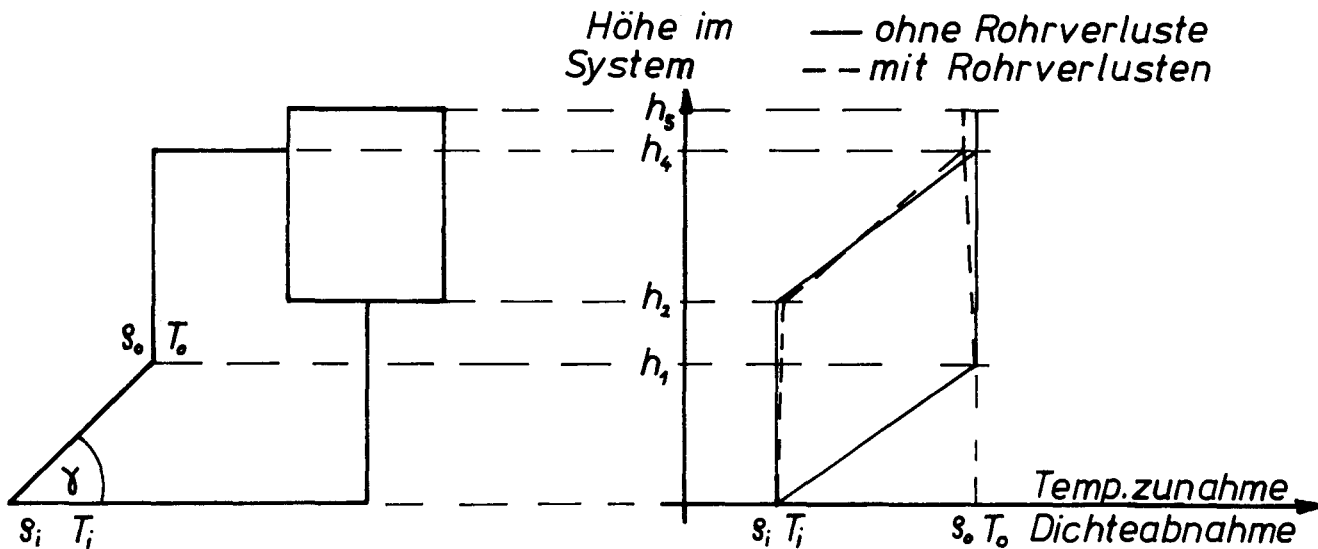


Abb. 2-3: Temperatur- und Dichteverteilung im Thermosiphon-system

Sind die Temperaturen T_i und T_o (Gl. 2-33 und 2-34) bekannt, dann kann man mit Hilfe dieses Diagramms jede Temperatur im System bestimmen.

2.6 Der umgekehrte thermosiphonische Effekt

Ein unerwünschtes Phänomen ist der umgekehrte thermosiphonische Effekt. Er kann unter zwei Bedingungen auftreten:

- a) ungenügende oder fehlende Isolierung der Rohre, besonders des Vorlaufs
- b) Wärmeverluste des Absorbers.

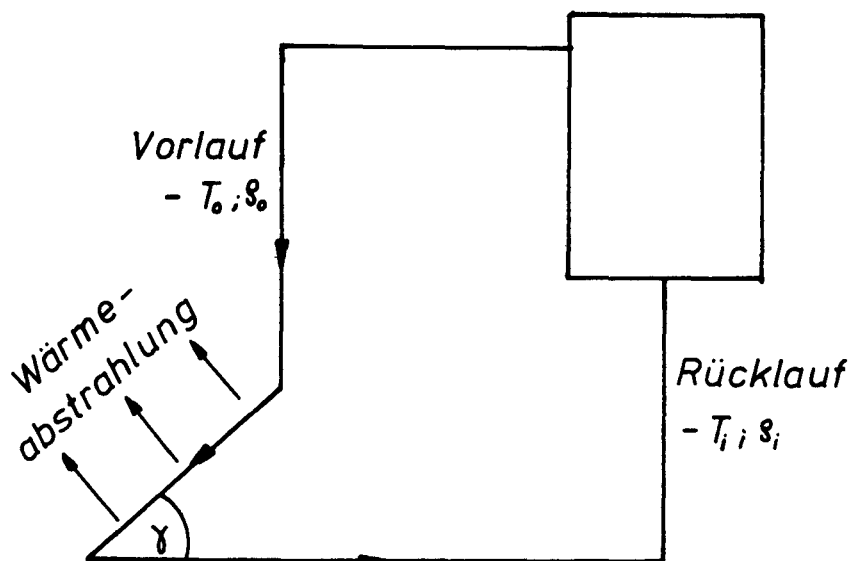


Abb. 2-4: Der umgekehrte thermosiphonische Effekt

Punkt a) dürfte kaum eine Rolle spielen, da wohl die meisten Thermosiphonsysteme ausreichend isoliert sind. Die Wärmeverluste des Absorbers sind also Hauptursache für diesen Effekt. Sie treten vorwiegend in der Nacht auf, wenn keine Solarstrahlung vorhanden ist. Dann gibt der Absorber und damit auch das Wasser in ihm Energie an die Umgebung ab, d.h. das Wasser im Kollektor kühlt ab, seine Dichte nimmt zu. Folglich sinkt es nach unten in Richtung des tiefsten Punktes des Systems. Dabei drückt es Wasser aus dem Rücklauf in den Tank und damit heißes Wasser aus dem Tank in den Vorlauf. Dort und im Kollektor kühlt nun dieses heiße Wasser aus und bewirkt das Gleiche. Es kommt so zu einem Fluß in entgegengesetzter Richtung, dem umgekehrten thermosiphonischen Fluß, welcher eine unerwünschte Abkühlung des Wassers im Tank zur Folge hat. Während der Nacht ($S = 0$) sieht die Leistungsbilanz eines Thermosiphons folgendermaßen aus:

für den Kollektor

$$\dot{m} c_p \Delta T_c = - \dot{Q}_{vc} \quad (2-35)$$

für das gesamte System

$$M c_p \frac{dT_m}{dt} = - (\dot{Q}_{vc} + \dot{Q}_{vT}) = - \dot{Q}_v \quad (2-36)$$

Mit Gleichung (2-8) und (2-13) folgt:

$$M c_p \frac{dT_m}{dt} = - [F' U_L A_c (T_a - T_u) + U_T A_T (T_m - T_u)] \quad (2-37)$$

Während der Nacht gilt aber nicht wie am Tag $T_a = T_m$. Daher ist diese Gleichung nicht allgemein lösbar für T_m . Es soll hier auch nicht näher darauf eingegangen werden, da der umgekehrte thermosiphonische Effekt sehr klein ist und relativ leicht verhindert werden kann.

Dazu gibt es mehrere Möglichkeiten,

- 1) man verhindert ihn auf Grund der Konstruktion der Rohrleitung (vgl. Kap. 3.1.2)

- 2) man verhindert ihn, indem man ein Absperrorgan einbaut, welches automatisch abends schließt und morgens öffnet (vgl. Kap. 3.1.1) und
- 3) man verhindert ihn, indem man die Höhe des Tanks relativ zum Absorber sehr groß macht /3/.

Zu Punkt 3) wäre noch zu erwähnen, daß damit auch der eigentliche thermosiphonische Effekt verstärkt wird, da nach Gl. (2-26) bei zunehmendem H auch der wirksame Auftriebsdruck linear zunimmt. Es ist also in jedem Fall günstig für ein Thermosiphonsystem, wenn der Tank relativ zum Absorber sehr hoch steht.

Der umgekehrte thermosiphonische Effekt hat neben den unerwünschten Begleiterscheinungen aber auch einen positiven Aspekt. Er verhindert ein Einfrieren des Absorbers und damit eine Zerstörung der Rohre, falls die Umgebungstemperatur kurzzeitig unter $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ sinkt.

3 AUFBAU UND DURCHFÜHRUNG DES EXPERIMENTS

3.1 Die aufgebauten Thermosiphonanlagen

Die Messungen wurden in der KFA Jülich ($50^{\circ} 55' \text{ N}$; $6^{\circ} 24' \text{ E}$) in der Programmgruppe Systemforschung und technologische Entwicklung (STE) an zwei Thermosiphonanlagen durchgeführt, eine von der Fa. Mildebrath in 7831 Sasbach (Abb. 3-1 und 3-2), die andere vom Ingenieurbüro Camphausen in 5170 Jülich (Abb. 3-5 und 3-6). Bei beiden Anlagen beträgt der Neigungswinkel des Kollektors 40° und die Kollektoren wurden nach Süden ausgerichtet. Ansonsten unterscheiden sich die Anlagen sowohl in der Größe als auch in wichtigen Details der Konstruktion sowie natürlich im Preis. Beide Systeme sind jedoch möglichst einfach gehalten. Sie haben keinen Wärmetauscher im Tank, so daß sich in den Anlagen Brauchwasser befindet. Daher dürfen diesem Wasser keine Zusätze, wie z.B. Frostschutzmittel, beigemischt werden, weshalb sie bei Frostgefahr nicht eingesetzt werden können. Die Einsatzfähigkeit ist damit in Deutschland sehr beschränkt. Dies gilt allerdings nicht für Ägypten, da es dort nie friert (ca. 30° N).

Im folgenden werden die beiden Anlagen genau beschrieben und verglichen. Die wichtigsten Daten sind in Tab. 3-1 (Seite 30) zusammengestellt.

3.1.1 Das Thermosiphonsystem von Mildebrath (System MB)

Die Abb. 3-1 und 3-2 zeigen die Thermosiphonanlage von Mildebrath, die im folgenden mit System MB bezeichnet wird. Man sieht, daß es eine sehr kompakte Anlage ist. Es ist eine Grundfläche von nur $3,5 \text{ m}^2$ nötig, um sie aufstellen zu können, und die größte Höhe vom Boden aus beträgt nur 1,6 m.

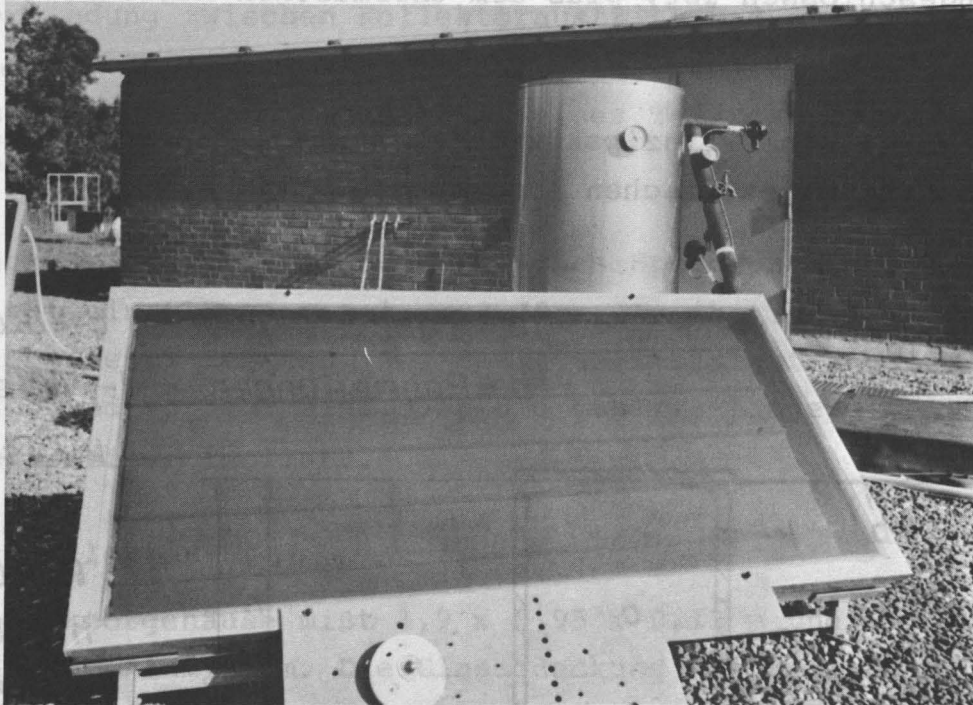


Abb. 3-1: System MB - Frontansicht

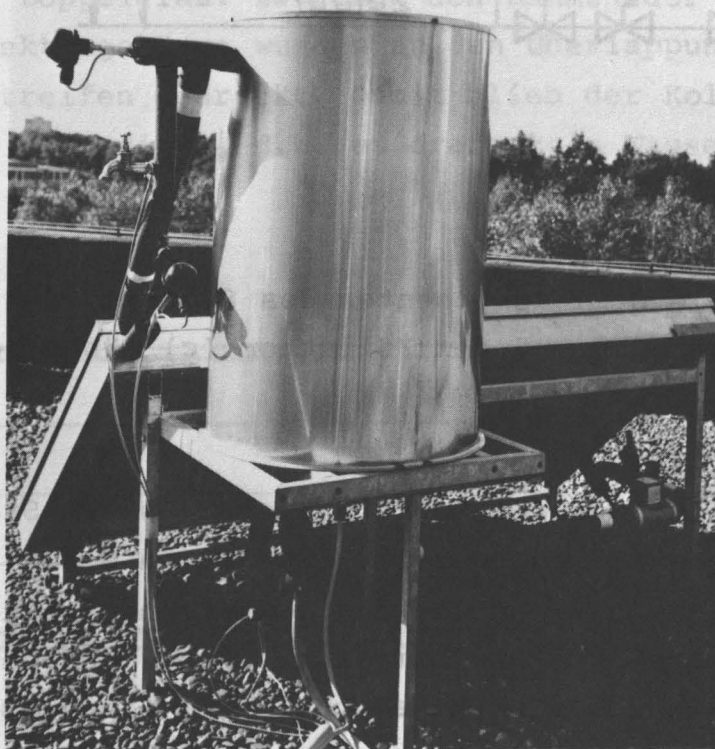


Abb. 3-2: System MB - Rückansicht

b) Die Rohrleitungen

Die gesamte Rohrleitung im System MB besteht aus 18 mm-Kupferrohren mit einem Innendurchmesser von $d = 15$ mm. Der Vorlauf, die Verbindung zwischen Kollektorausstritt und Speicher, hat eine Länge von $l_v = 1$ m und mündet von oben mittig in den Tank. An dem gleichen Rohr ist mittels eines T-Stücks (Bogen-T) die Entnahme angebracht.

Der Rücklauf, die Verbindung zwischen Speicher und Kollektoreinlass, hat eine Länge von $l_r = 2,75$ m. An ihn ist, ebenfalls mittels eines T-Stückes, der Speisewasserzulauf angeschlossen. Rücklauf und Vorlauf sind über die gesamte Länge mit 1,5 cm dickem Armaflex isoliert.

c) Der Kollektor

Das Kollektorgehäuse mißt $1,9 \times 0,95 \times 0,13$ m und besteht aus 2 mm dickem Aluminium. Die Glasabdeckung des Kollektors ist sehr leicht auszuwechseln. Es wurden eine Einfachglas- und eine Doppelglasabdeckung mitgeliefert. Die Transmission wurde gemessen (s. Kap. 4.1.4.1): $\tau = 0,85$ für das Einfachglas und $\tau = 0,73$ für das Doppelglas. Zwischen den Rahmen der Glasscheibe und dem Kollektorgehäuse wurden an den Überlappungsstellen Schaumgummistreifen gedrückt. Damit blieb der Kollektor während der gesamten Zeit dicht, d.h. es drang kein Wasser oder Schmutz nach innen.

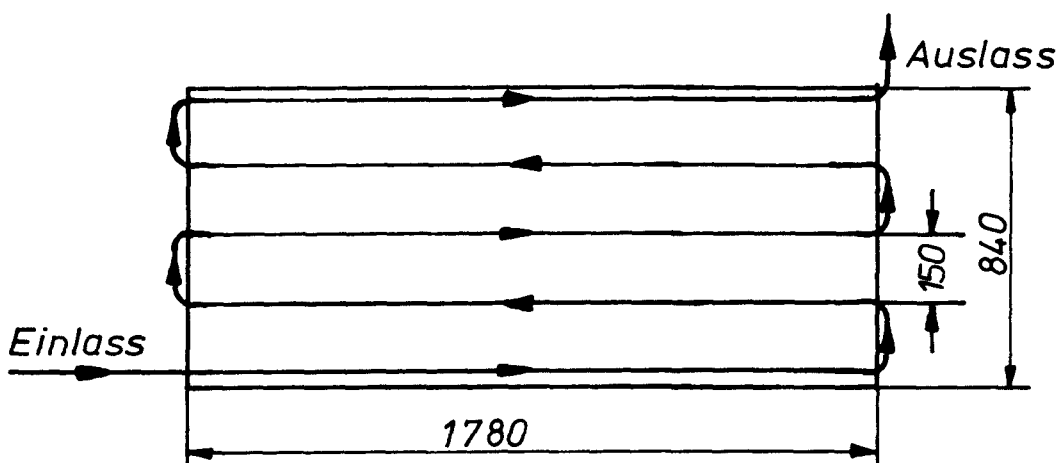


Abb. 3-4: Der Absorber des Systems MB

Abb. 3-4 zeigt den Aufbau des Absorbers. Fünf 18 mm-Kupferrohre ($d = 15 \text{ mm}$) liegen im Abstand von 150 mm parallel zueinander. Sie sind hintereinander geschaltet und bilden so eine Rohrschlange von 10 m Länge (Mäanderkollektor). Dieser Aufbau ist dadurch ungewöhnlich, weil die fünf parallelen Rohre der Schlange quer zur Hauptrichtung des thermosiphonischen Flusses liegen. In dieser Hauptrichtung liegen nur die fünf kurzen Rohrstücke an den Seiten des Absorbers mit einer Gesamtlänge von nur 0,75 m. Die Pfeile in Abb. 3-4 geben die Strömungsrichtung des Fluids an.

Die Absorberplatte hat eine Fläche von $A_c = 1,78 \text{ m} \times 0,84 \text{ m} = 1,5 \text{ m}^2$ und besteht aus 1,5 mm dickem Kupfer. Sie ist mit 3 M-Kollektorlack ($\alpha = 0,94$) beschichtet. Der Absorber ist nach hinten und zu den Seiten mit 40 mm Mineralwolle der Fa. Grünzweig + Hartmann isoliert.

Da das System MB ein Drucksystem ist und der Druck mit steigender Wassertemperatur zunimmt, ist ein Überdruckventil (d) nötig. Dieses ist in den Rücklauf vor dem Kollektoreinlaß eingebaut und öffnet bei 6 bar. Ebenfalls dort ist ein Absperrventil (e) eingebaut, das sowohl von Hand als auch über eine Zeitschaltuhr bedient werden kann. Es dient dazu, den möglicherweise auftretenden umgekehrten thermosiphonischen Fluß während der Nacht zu verhindern.

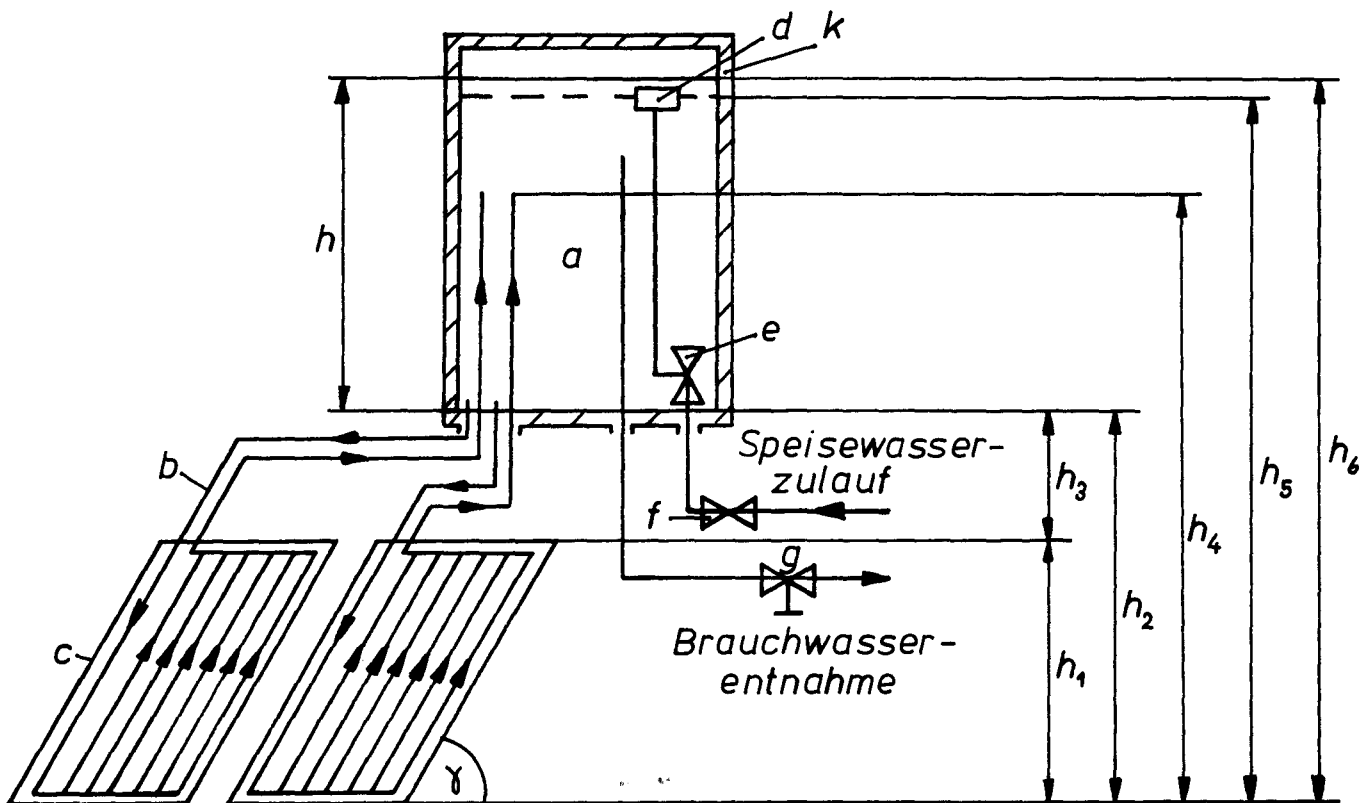
Vor dem Kollektoreinlaß, also am tiefsten Punkt des Systems besteht außerdem die Möglichkeit, das System über ein weiteres Ventil (f) zu entleeren. Durch zwei Absperrhähne (g) vor diesem Ventil und hinter dem Kollektorauslaß im Vorlauf besteht zusätzlich die Möglichkeit, nur den Kollektor zu entleeren. Dies ist sehr nützlich, weil man ihn dadurch leicht reinigen und entkalken kann.

Sowohl ausgezeichnete Verarbeitung als auch vorbildliche Wartungsmöglichkeiten lassen für System MB eine hohe Lebensdauer erwarten, was im Rahmen dieser Arbeit allerdings nicht untersucht werden konnte. Dazu müßten Langzeittests durchgeführt werden.

Der Preis für diese Anlage beträgt 1000 ägyptische Pfund (2 800.- DM).

3.1.2 Das Thermosiphonsystem von Camphausen (System C)

Die Abb. 3-5 und 3-6 zeigen die Thermosiphonanlage von Camphausen, die im folgenden mit System C bezeichnet wird. Es ist eine Grundfläche von 5 m^2 nötig, um sie aufstellen zu können, und die größte Höhe vom Boden aus beträgt 2 m.



$a =$ Tank	$\gamma = 40^\circ$
$b =$ Rohrleitungen	$h = 0,9 \text{ m}$
$c =$ Kollektor	$h_1 = 0,755 \text{ m}$
$d =$ Schwimmer	$h_2 = 0,95 \text{ m}$
$e-g =$ Ventile	$h_3 = 0,2 \text{ m}$
$k =$ Isolierung	$h_4 = 1,575 \text{ m}$
	$h_5 \approx 1,8 \text{ m}$
	$h_6 = 1,85 \text{ m}$
	$H = 0,885 \text{ m}$

Abb. 3-7: Das System C

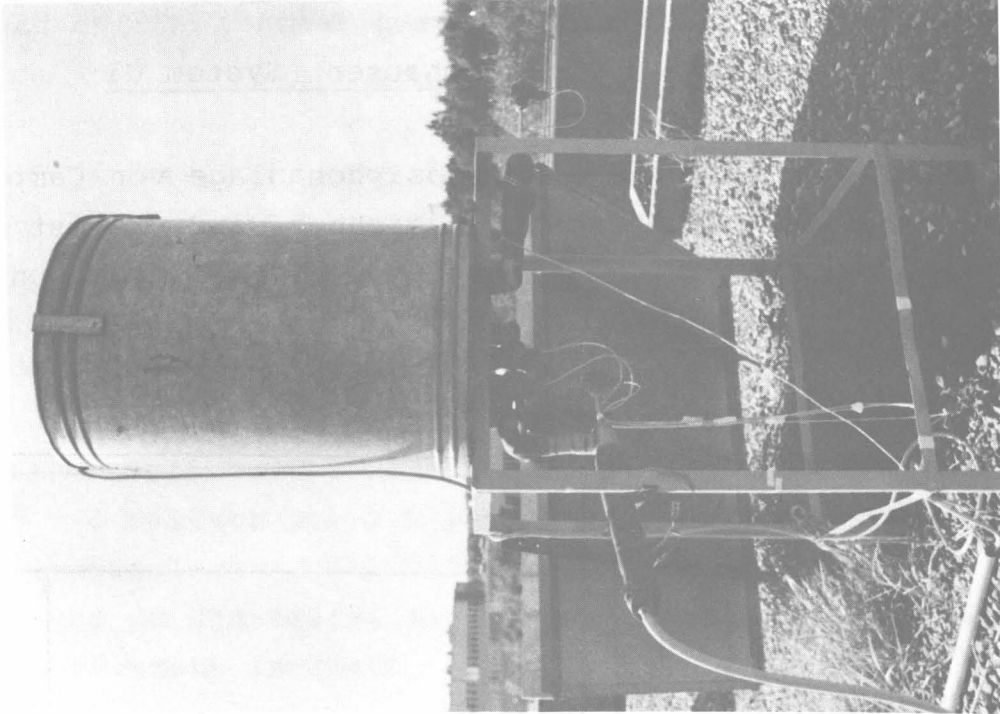


Abb. 3-6: System C - Rückansicht

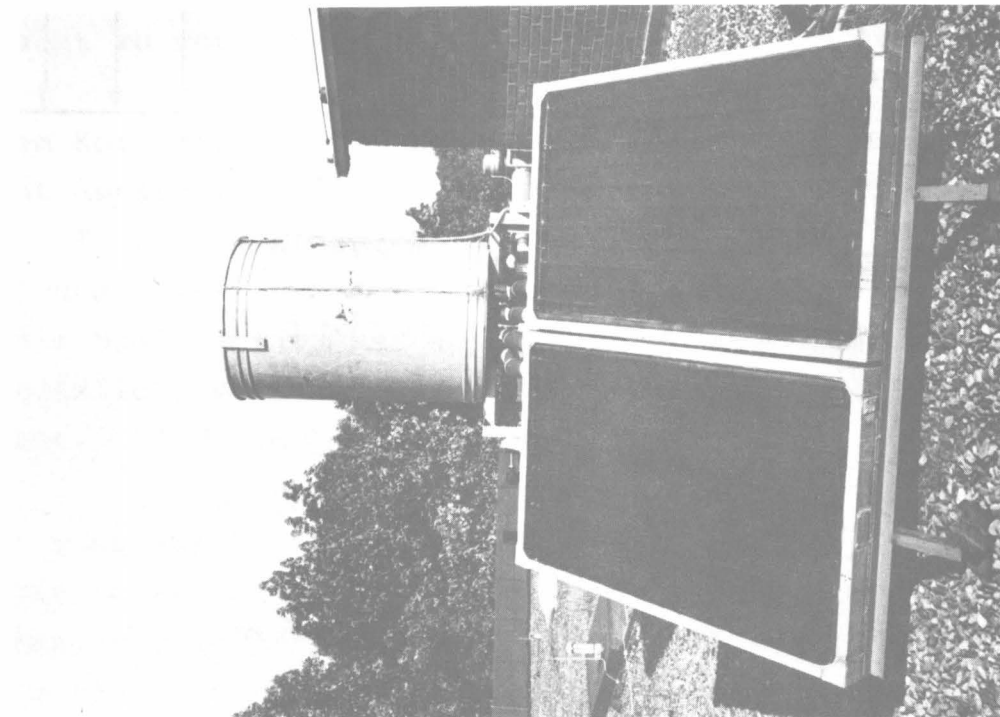


Abb. 3-5: System C - Frontansicht

Bei diesem System handelt es sich um ein druckloses System. Durch ein Schwimmerventil wird die Speisewasserzuleitung geschlossen, wenn der Wasserstand im Tank eine bestimmte Höhe erreicht.

Abb. 3-7 zeigt eine Prinzipskizze des Systems C mit einigen wichtigen systemspezifischen Abmessungen.

Es werden nun die drei Komponenten des Systems, der Tank (a), die Rohrleitungen (b) und der Kollektor (c) näher beschrieben.

a) Der Tank oder Speicher

Die äußere Ummantelung des Tanks besteht aus galvanisiertem Blech und mißt 0,97 x 0,65 m (Höhe x Durchmesser). Eine 2 cm dicke Isolierung aus Glaswolle liegt zwischen der äußeren Ummantelung und dem Tank. Dieser besteht aus Polypropylen. Er hat bis zum inneren Deckel eine Höhe von $h = h_6 - h_2 = 0,9$ m und einen Durchmesser von 0,55 m. Der innere Deckel ist ebenfalls aus Polypropylen und fest verschweißt. Der Tank ist also vollkommen dicht, so daß kein Schmutz eindringen kann. Der Wasserstand im Tank schwankt je nach Wassertemperatur zwischen 0,825 m und 0,875 m. Damit ergibt sich ein mittleres Volumen von ca. 200 l.

b) Die Rohrleitungen

Der Speisewasserzulauf und die Brauchwasserentnahme sind getrennt von Rücklauf bzw. Vorlauf. Sie münden, wie auch alle anderen Rohre, von unten in den Tank. Wie schon erwähnt, schließt ein Schwimmerventil (e) den Speisewasserzulauf, wenn der Wasserstand eine Höhe von 0,825 m erreicht hat. Die Brauchwasserentnahme ragt bis auf 0,65 m in den Tank hinein, d.h. das Wasser wird nicht von ganz oben entnommen, sondern von einer Schicht etwa 20 cm unterhalb des Wasserspiegels. Das hat den Vorteil, daß man ca. 45 l Wasser entnehmen kann, ohne daß welches nachläuft.

Das System C hat zwei Kollektoren, welche völlig getrennt voneinander sind, d.h. es gibt zwei Vorläufe und zwei Rückläufe.

Die Rohrverbindungen zwischen Tank und den Kollektoren bestehen aus 28 mm Polypropylenrohren (Innendurchmesser $d = 25$ mm).

Der Vorlauf hat eine Länge von $l_v = 1,09$ m pro Kollektor. Da auch dieser von unten in den Tank mündet, ragt er bis auf eine Höhe von 0,625 m in den Tank, bleibt also wie die Brauchwasserentnahme ein ganzes Stück unterhalb des Wasserspiegels.

Ungewöhnlich daran ist, daß davon 1,22 m im Kollektor verlaufen. Der Rücklauf mündet also nicht, wie gewöhnlich bei Thermosiphonsystemen, von unten in den Kollektor, sondern von oben und wird mit einem Kupferrohr gleichen Durchmessers im Kollektor nach unten geführt. Da das Wasser damit schon im Rücklauf erwärmt wird, wird diese Konstruktion mit Sicherheit eine Verminderung des thermosiphonischen Flusses zur Folge haben. Er dürfte allerdings kaum zum Stillstand kommen, weil das Rücklaufrohr nicht, wie die anderen Rohre im Kollektor, schwarz beschichtet ist und außerdem nahe am Kollektorrand verläuft, so daß es vom Kollektorgehäuse teilweise beschattet wird.

Alle Rohre, die außerhalb des Speichers und des Kollektors verlaufen, sind mit 1 cm dickem Armaflex isoliert.

c) Die Kollektoren

Wie schon gesagt, hat das System C zwei Kollektoren gleichen Aufbaus. Das Kollektorgehäuse mißt $1,25 \times 0,8 \times 0,11$ m und besteht aus galvanisiertem Blech. Der Kollektor ist mit 3 mm Fensterglas abgedeckt (K-Wert = $5,2 \text{ W/m}^2\text{K}$). Die Transmission wurde zu $\tau = 0,91$ berechnet (s. Kap. 4.1.4.1). Die Glasscheibe ist fest eingebaut, so daß der Kollektor dicht ist, aber die Scheibe nicht einfach ausgewechselt werden kann.

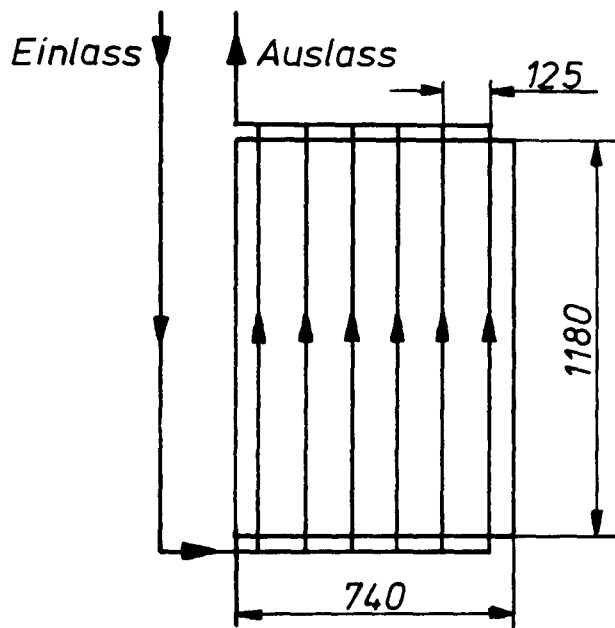


Abb. 3-8: Der Absorber des Systems C

Abb. 3-8 zeigt den Aufbau des Absorbers. Sechs 15 mm Kupferrohre (Innendurchmesser $d_1 = 13$ mm) liegen im Abstand von $a = 125$ mm parallel zueinander in horizontaler Richtung, also in Hauptrichtung des thermosiphonischen Flusses (Pfeile). Diese Steigrohre haben eine Länge von je 1,18 m und münden oben und unten in je ein Sammelrohr, welches mit Vorlauf bzw. Rücklauf verbunden ist (Parallelrohrkollektor). Die Sammelrohre bestehen, wie die Rücklaufrohre im Kollektor, aus Kupfer mit einem Innendurchmesser von $d = 25$ mm.

Jede der beiden Absorberplatten hat eine Fläche von $0,875 \text{ m}^2$, womit die gesamte Absorberfläche für das System C $A_c = 2 \times 0,875 \text{ m}^2 = 1,75 \text{ m}^2$ beträgt. Sie bestehen aus 1 mm dickem Aluminium und sind mit BASF-Sonnenkollektorlack GF 33-9499 beschichtet ($\alpha = 0,93$).

Die Wartung des Systems C wirft einige Probleme auf. So kann man, wie schon erwähnt, die Glasabdeckung der Kollektoren nicht einfach auswechseln. Außerdem ist eine vollständige Entleerung der Anlage nicht einfach möglich und damit keine Reinigung des Wassers bzw. der Anlage. Ferner ist dadurch, daß der Tank völlig geschlossen ist, keine etwaige Reparatur an den Einbauten

im Tank, z.B. dem Schwimmerventil, möglich. Die Unterkonstruktion ist nur durch einen einfachen Anstrich gegen Korrosion geschützt. Damit dürfte die Lebensdauer dieses Systems kleiner sein als die des Systems MB.

Der große Vorteil dieser Anlage liegt im Herstellungsverfahren, denn sie wird in Kooperation mit einem ägyptischen Partner vollständig in Ägypten hergestellt. Es wurden daher nur Materialien verwendet und Fertigungsverfahren benutzt, die auch in Ägypten zur Verfügung stehen, und zwar möglichst preiswert, um mit den konventionellen Warmwasserbereitungssystemen konkurrieren zu können (s. Kap. 4.6). Der Preis für diese Anlage beträgt in Ägypten 588.- £ (1 700.- DM). Damit dürfte sie trotz der o.g. Unzulänglichkeiten - die man mit Sicherheit noch ausbessern kann - für Ägypten die Interessantere der beiden Anlagen sein.

3.1.3 Vergleich der Konstruktionen

Die zwei Thermosiphonanlagen weisen große konstruktive Unterschiede auf. Die wichtigsten Daten sind in Tab. 3-1 zusammengefaßt. Es sollen hier nur noch einige für Thermosiphonsysteme ungewöhnliche konstruktive Besonderheiten und deren Auswirkungen erwähnt werden.

Das System C ist etwa doppelt so groß wie das System MB. Es ist in Kooperation mit dem ägyptischen Partner für eine sechsköpfige ägyptische Familie konzipiert. Das Verhältnis von Kollektorfläche A_C zum Volumen V beträgt $0,00875 \text{ m}^2/\text{l}$. Für das System MB beträgt dieses Verhältnis $0,015 \text{ m}^2/\text{l}$, ist also wesentlich günstiger. Die Kollektorfläche müßte beim System C etwa 1 m^2 größer sein, um dem Verhältnis A_{CMB}/V_{MB} zu entsprechen.

Die Rohrführungen weisen bei beiden Anlagen Ungewöhnlichkeiten auf. Im Kollektor des Systems MB liegt die Rohrschlange quer zur Hauptrichtung des thermosiphonischen Flusses, wodurch dieser mit Sicherheit stark verringert wird (s. Kap. 4.2). Ferner ist es ungewöhnlich, daß der Speisewasserzulauf direkt am Rücklauf und die Brauchwasserentnahme direkt am Vorlauf angeschlossen

sen sind. Dadurch kann es zu unerwünschten Vermischungen kommen, indem, z.B. bei Entnahme, teilweise Wasser direkt aus dem Kollektor gezogen wird, statt nur aus dem Tank (s. Kap. 4.5).

Beim System C ist die Ungewöhnlichkeit der Führung des Rücklaufs innerhalb des Kollektors und die damit zu erwartende Verminderung des thermosiphonischen Flusses schon in Kap. 3.1.2 hervorgehoben worden. Der Vorteil dieser U-förmigen Rohrführung im Kollektor liegt darin, daß es nicht zu einem umgekehrten thermosiphonischen Fluß während der Nacht kommen kann, weil sich das im Kollektor abgekühlte Wasser am tiefsten Punkt ansammelt und damit keine Möglichkeit besteht, daß Wasser aus dem Tank gezogen wird. Beim System MB dagegen dürfte mit Sicherheit ein umgekehrter Fluß während der Nacht auftreten, falls das Magnetventil nicht geschlossen wird, zumal der Tank für ein Thermosiphonsystem sehr niedrig steht (s. Kap. 4.2.3).

Eine weitere Ungewöhnlichkeit bezüglich der Rohrführung des Systems C ist der Vorlauf. Er wird nicht wie bei anderen Thermosiphonsystemen außen entlang und von oben in den Tank geführt, sondern von unten und steigt bis auf ca. 25 cm unterhalb des Wasserspiegels. Der Vorteil ist, daß man dieses Rohr nicht isolieren muß, wie überhaupt beim System C nur sehr kurze Rohrstücke außen liegen, also direkten Umwelteinflüssen ausgesetzt sind. Der Nachteil allerdings ist darin zu sehen, daß es zu großen Verwirbelungen im Tank kommt und damit die Temperaturschichtung im Tank zerstört wird (s. Kap. 4.3).

In Verarbeitung und Wartungsfreundlichkeit weist das System MB große Vorzüge gegenüber System C auf, was sicherlich darin begründet liegt, daß System C in Ägypten hergestellt wird. Allerdings sollte bei einem Thermosiphonsystem dieser Art möglich sein, es ohne Probleme vollständig entleeren und damit reinigen zu können, da es sich um Brauchwasser handelt, welches auch Trinkwasserqualität haben sollte. Vielleicht ist es für beide Systeme empfehlenswert, einen leicht auswechselbaren ReinigungsfILTER in die Speisewasserzuleitung einzubauen.

	System MB (Drucksystem)	System C (druckloses System)
a) Der Speicher		
äußere Ummantelung	V-2A-Stahl	galvanisiertes Blech
Isolierung	10 cm Isover	2 cm Glaswolle
Tank	V-2A-Stahl; V = 110 l	Polypropylen (PP); V = 200 l
b) Die Rohrleitungen		
Vorlauf	$d = 15 \text{ mm}; l_v = 1 \text{ m}; \text{Cu}$	$d = 25 \text{ mm}; l_v = 1,09 \text{ m}(\text{pro Koll.}); \text{PP}$
Rücklauf	$d = 15 \text{ mm}; l_r = 2,75 \text{ m}; \text{Cu}$	$d = 25 \text{ mm}; l_r = 1,72 \text{ m}; \text{PP} + \text{Cu}$
Isolierung	1,5 cm - Armaflex	1 cm - Armaflex
c) Der Kollektor	Mäanderkollektor	Parallelrohrkollektor
Neigungswinkel	$\gamma = 40^\circ$	$\gamma = 40^\circ$
Absorber	$A_c = 1,78 \text{ m} \times 0,84 \text{ m} = 1,5 \text{ m}^2; \alpha = 0,94;$ 1,5 mm Cu	$A_c = (0,74 \text{ m} \times 1,18 \text{ m}) \times 2 \text{ Koll.} = 1,75 \text{ m}^2 -$ $\alpha = 0,93; 1 \text{ mm Al}$
Rohre	$d = 15 \text{ mm}; l = 10 \text{ m}; a = 150 \text{ mm}; \text{Cu}$	1 Sammelrohr: $d = 25 \text{ mm}; l = 0,74 \text{ m}; \text{Cu}$ 6 Steigrohre: $d = 15 \text{ mm}; l = 1,18 \text{ m}(\text{pro Rohr})$ $a = 125 \text{ mm}; \text{Cu}$
Isolierung und Abdeckung	nach hinten und zur Seite 40 mm Mineralwolle; wahlweise Einfachglas ($\tau = 0,85$) oder Doppelglas ($\tau = 0,73$)	nach hinten 40 mm und zur Seite 20 mm Polyurethan; 3 mm - Fensterglas: $\tau = 0,91;$
d) Preis	1000 ägypt. Pfund ₤ (2 800,-DM)	588 ägypt. Pfund ₤ (1 700,-DM)

Tab. 3.1: Die wichtigsten Daten der beiden Thermosiphonanlagen

3.2 Die Messungen

An den Thermosiphonanlagen wurden ausschließlich Temperaturen gemessen. Dabei wurde besonders Wert gelegt auf die Messung der Temperatur im Tank in verschiedenen Höhen, um die Temperaturschichtung im Tank und die mittlere Tanktemperatur möglichst genau zu bestimmen. Dafür wurden zwei Meßstäbe mit neun bzw. sieben Meßfühlern gebaut.

Der Durchfluß wurde nicht gemessen, weil dieser sehr klein ist und daher alle gängigen Durchflußmesser dem Fluß einen zu großen Widerstand entgegengesetzt hätten, wodurch die Messung verfälscht worden wäre. Da es zudem möglich ist, den Durchfluß aus den gemessenen Temperaturen zu bestimmen, wurde er nicht gemessen.

Neben den Temperaturen an den Thermosiphonanlagen wurden zusätzlich die Umgebungstemperatur, die Solarstrahlung und die Windgeschwindigkeit erfaßt.

3.2.1 Die Meßeinrichtungen an den Thermosiphonsystemen

3.2.1.1 Die Anordnung der Meßfühler

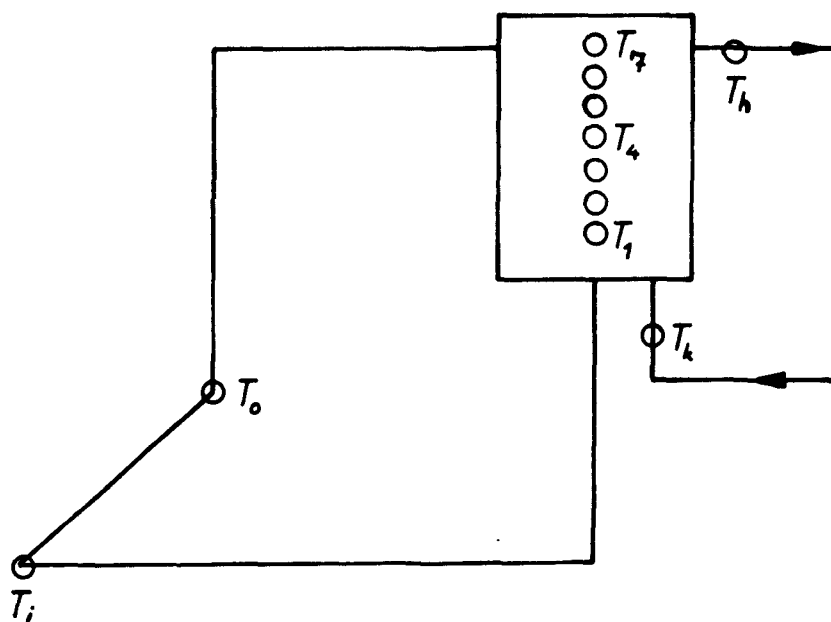


Abb. 3-9: Anordnung und Bezeichnung der Temperaturfühler

Abb. 3-9 zeigt die Anordnung der Temperaturfühler in den Systemen. Es wurden die Kollektoreintrittstemperatur T_i , die Kollektoraustrittstemperatur T_o , die Temperatur des Speisewasserzulaufs T_k und die Temperatur der Entnahme T_h erfaßt. Ferner wurde die Tanktemperatur beim System MB in sieben und beim System C in neun verschiedenen Höhen gemessen, wobei die Fühler äquidistant angeordnet wurden. Die Abb. 3-10 und 3-11 zeigen die Anordnung der Fühler im Tank mit exakter Bemaßung für beide Systeme. Dabei entspricht T_1 jeweils der unteren Tanktemperatur und T_7 bzw. T_9 der oberen Tanktemperatur. Die mittlere Tanktemperatur T_m ergibt sich dann aus der Mittelung aller im Tank befindlichen Fühler, also

$$T_m = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n T_i$$

mit n = Anzahl der Fühler im Tank.

Diese Mittelung ist etwas kritisch, da man jedem Fühler das gleiche Volumen V_i zuordnet und eine lineare Temperaturverteilung in jedem dieser Volumenelemente (Schicht) voraussetzt (s. Kap. 4.3).

3.2.1.2 Die verwendeten Meßfühler

Es wurden ausschließlich Platin-Widerstandsthermometer mit einem Widerstand von $R_o = 100 \, \Omega$ bei $0 \, ^\circ\text{C}$ (Pt 100) verwendet /15/. Nach DIN 43760 gilt für diesen Meßwiderstand folgende Zahlenwertgleichung:

$$\begin{aligned} R_T &= R_o (1 + \alpha_T T - \beta_T T^2) & (3-1) \\ \text{mit } R_T &= \text{Widerstand bei der Temperatur } T & (\Omega) \\ R_o &= 100 \, \Omega \text{ (Widerstand bei } 0 \, ^\circ\text{C)} \\ \alpha_T &= 3,9 \cdot 10^{-3} \, 1/\text{K} \text{ (Koeffizient)} \\ \beta_T &= 0,58 \cdot 10^{-8} \, 1/\text{K}^2 \text{ (Koeffizient)} \\ T &= \text{Temperatur} & (^\circ\text{C}) \end{aligned}$$

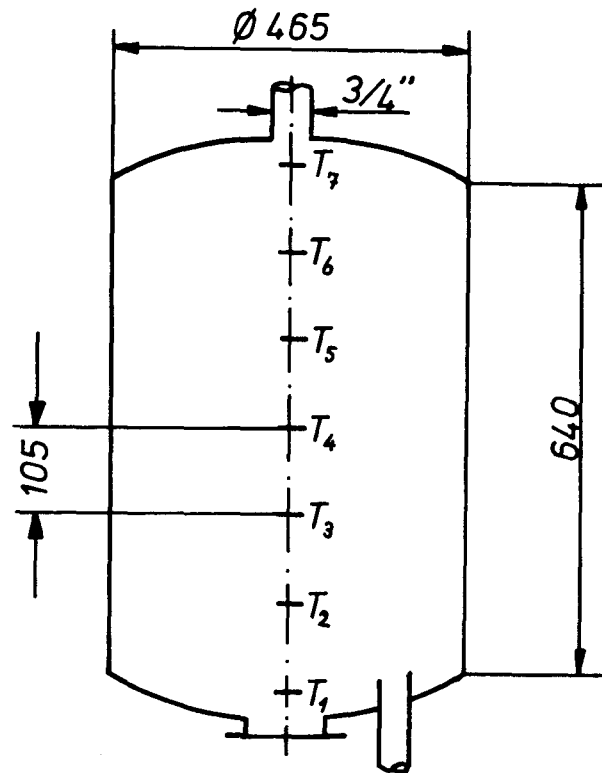


Abb. 3-10: Der Speicher des Systems MB mit Anordnung der Meßfühler

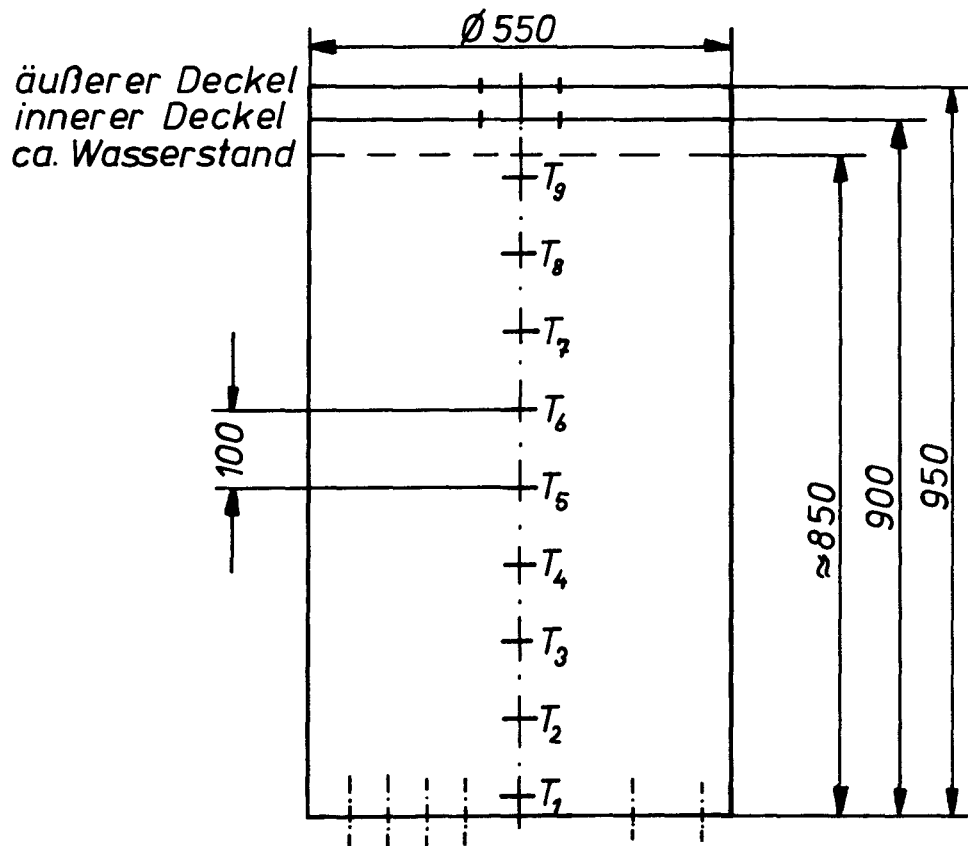


Abb. 3-11: Der Speicher des Systems C mit Anordnung der Meßfühler

Ebenfalls nach DIN 43760 gilt für die zulässige Abweichung der verwendeten Fühler (Klasse A) δT_{Pt100} in °C:

$$\delta T_{Pt100} = \pm (0,15 + 0,002 |T|) \quad (3-2)$$

mit δT_{Pt100} = zulässige Abweichung (°C)

Für die vier Meßstellen außerhalb des Tanks (T_k , T_h , T_i , T_o) wurde von den Herstellern die Möglichkeit vorgesehen, Meßeinsätze nach DIN 43762 anzubringen. Abb. 3-12 zeigt einen solchen Meßeinsatz von der Fa. Rössel-Meßtechnik mit einem Durchmesser $d = 8$ mm, einer Einsatzlänge $l_s = 340$ mm und einem Anschlußkopf der Form B nach DIN 43729 /16/. Die Einsatzlänge entspricht der gesamten Länge des Meßeinsatzes, während der Pt 100-Meßwiderstand bis zu einer Länge $l_4 = 70$ mm eingebaut ist.

Für diese Meßeinsätze wurden an den entsprechenden Stellen in den Thermosiphonsystemen Schutzrohre der Form B nach DIN 43763 mit einem Durchmesser $d = 11$ mm und einer Einbaulänge $l_1 = 160$ mm eingeschraubt. Um einen guten Wärmeübergang zwischen Einsatz und Schutzrohr zu erhalten, wurden die Meßeinsätze vor dem Einbau mit einer Silicon-Wärmeleitpaste der Firma Seifert-Electronic bestrichen. Zusammengebaut entsprachen diese Einschraubwiderstandsthermometer der Form B nach DIN 43765.

Von den Herstellern der Thermosiphonanlagen wurde außerdem an diesen vier Meßstellen die Rohrführung erweitert, damit keine Behinderung des Flusses eintritt. Beim System C wurde, da beide Kollektoren identisch sind, nur an einem Kollektor Ein- und Austrittstemperatur gemessen.

Für die Messung der Tanktemperatur war beim System MB unten am Tank ein Flansch angebracht, während beim System C oben im Tankdeckel eine Öffnung vorgesehen war. Die Öffnungen waren so angeordnet, daß die Temperaturmessung in der Mitte des Tanks erfolgen konnte. Für diese Temperaturmessung wurden Dünnfilm-Temperaturmeß-Widerstände DTW-Pt 100 der Fa. Driesen + Kern verwendet /17/. Sie bestehen aus einem Keramikträger, auf dem eine Platinschicht, der Meßwiderstand, aufgebracht ist. Das Ganze

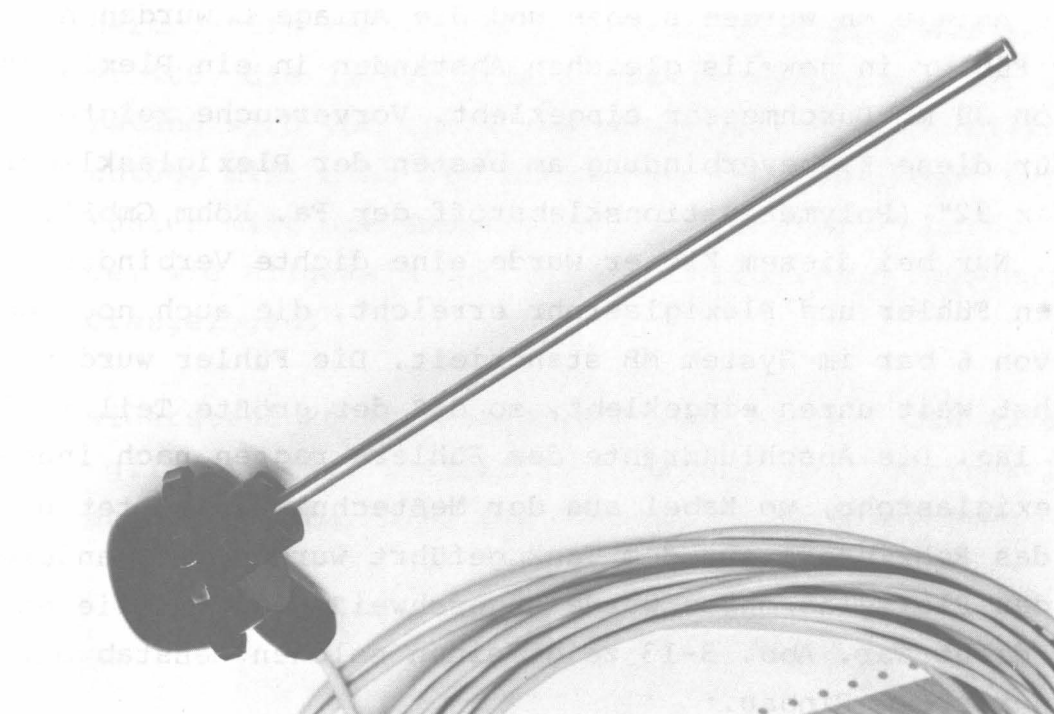


Abb. 3-12: PT 100-Meßeinsatz nach DIN 43762

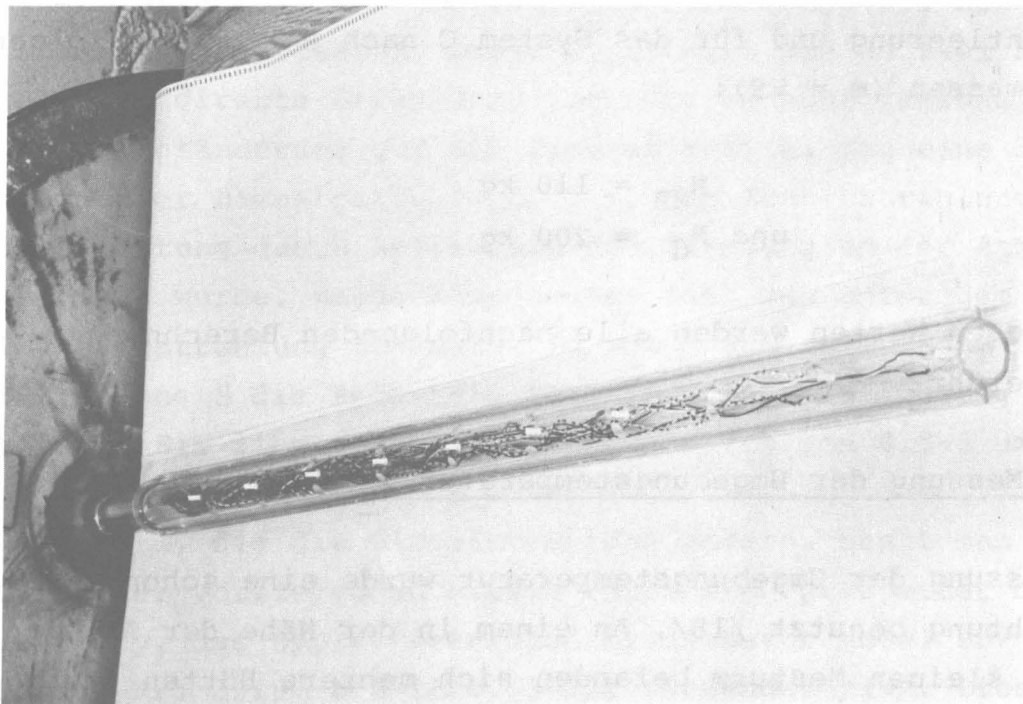


Abb. 3-13: Meßstab mit DTW-PT 100 Meßwiderständen zur
Messung der Temperaturschichtung im Tank

ist von einer Lackschicht überzogen, wodurch es absolut wasserdicht ist. Die Abmessungen betragen nur ca. 10,2 x 3,2 x 1 mm. An der Schmalseite ragen zwei Anschlußdrähte heraus.

Für die Anlage MB wurden sieben und die Anlage C wurden neun dieser Fühler in jeweils gleichen Abständen in ein Plexiglasrohr von 30 mm Durchmesser eingeklebt. Vorversuche zeigten, daß sich für diese Klebeverbindung am besten der Plexiglas Kleber "Acrefix 92" (Polymerisationsklebstoff der Fa. Röhm GmbH), eignet. Nur bei diesem Kleber wurde eine dichte Verbindung zwischen Fühler und Plexiglasrohr erreicht, die auch noch dem Druck von 6 bar im System MB standhielt. Die Fühler wurden möglichst weit unten eingeklebt, so daß der größte Teil frei im Wasser lag. Die Anschlußdrähte des Fühlers ragten nach innen in das Plexiglasrohr, wo Kabel aus der Meßtechnik angelötet und durch das Rohrinne aus dem Tank geführt wurden. Die andere Seite des Plexiglasrohres wurde zugeschweißt, so daß dieses völlig dicht war. Abb. 3-13 zeigt einen solchen Meßstab mit Fühlern vor dem Einbau.

Da die Meßstäbe ein Volumen im Tank einnehmen, muß man ihr Volumen vom Tankvolumen abziehen. Es ergaben sich für das System MB nach Entleerung und für das System C nach Berechnung folgende Wassermassen ($m = V \rho$):

$$\begin{aligned} M_{MB} &= 110 \text{ kg} \\ \text{und } M_C &= 200 \text{ kg} \end{aligned}$$

Mit diesen Werten werden alle nachfolgenden Berechnungen durchgeführt.

3.2.2 Messung der Umgebungstemperatur T_u

Zur Messung der Umgebungstemperatur wurde eine schon vorhandene Einrichtung benutzt /18/. An einem in der Nähe der Anlagen stehenden kleinen Meßturm befanden sich mehrere Hütten zur Messung der Lufttemperatur. Für die vorliegende Arbeit wurde die ventilierte Frankenberger-Hütte verwendet, die üblicherweise in me-

teorologischen Stationen für die Lufttemperaturmessung verwendet wird. Dieses Meßgerät besteht aus zwei Thermometerhaltern mit doppelwandigem Strahlungsschutzrohr, dem abschraubbaren Schutzgehäuse mit Ventilator sowie zwei schrägliegenden Widerstandsthermometern (Abb. 3-14). Auch hierbei sind die Meßwiderstände Pt 100, die in Hartglas eingeschmolzen sind. Der eine Meßwiderstand wird von einem angeschraubten Wasserbehälter dauerbefeuchtet, mißt also die Temperatur der "feuchten" Luft. Der andere Fühler mißt die Temperatur der "trockenen" Luft. Letzterer wurde, wie allgemein üblich, zur Messung der Umgebungstemperatur herangezogen.

Der Meßwiderstand Pt 100 entspricht auch hierbei DIN 43760, d.h. es gilt Gl. (3-1). Allerdings beträgt die Toleranz 1/3 der angegebenen DIN-Norm, d.h. für die zulässige Abweichung

$$\delta T_u \leq \pm 0,1 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (3-3)$$

3.2.3 Messung der Solarstrahlung S

Für die Solartechnik ist nur die Solarstrahlung, die auf der Erde ankommt, interessant. Diese unterteilt man in zwei Komponenten, eine direkte Strahlung, i.e. die Sonnenstrahlung, die ohne Richtungsänderung auf die Erde auftrifft, und eine diffuse Strahlung oder Himmelsstrahlung, i.e. die Sonnenstrahlung, bei der die Richtung durch Reflektion und Streuung in der Atmosphäre verändert wurde. Beide Komponenten faßt man unter dem Begriff Globalstrahlung zusammen. Im folgenden soll, wenn von der Solarstrahlung S die Rede ist, immer die Globalstrahlung gemeint sein. Sie liegt im Wellenlängenbereich von 0,3-3 μm .

Die Meßgeräte, die die Globalstrahlung messen, nennt man Pyranometer. In der vorliegenden Arbeit wurde ein Pyranometer der Firma Eppley, das Eppley Precision Pyranometer Model PSP mit der Serien-Nr. 19197 F 3 (Abb. 3-15) verwendet /19/. Dieses Gerät ist ein sog. Moll-Gorczyński Pyranometer /20/, welches heute das genaueste und schnellste Pyranometer ist. Es basiert

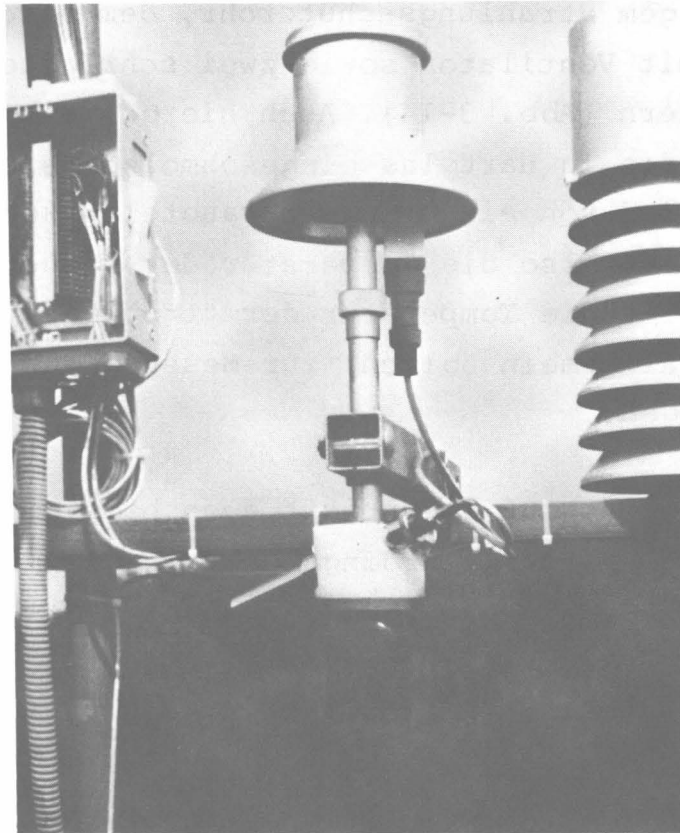


Abb. 3-14: Frankenberger-Hütte zur Messung der Umgebungstemperatur



Abb. 3-15: Das Eppley-Pyranometer zur Messung der Solarstrahlung

auf der Messung des Temperaturunterschieds zwischen einer schwarzen Empfangsfläche, die der Strahlung ausgesetzt ist, und einer festen Temperatur, die im Gerät hergestellt wird. Für diese Messung wird eine Thermoelementsäule bestehend aus 50 Thermoelementen eingesetzt, welche zusammen eine Thermospannung U_M , die Meßspannung, abgeben. Die Solarstrahlung S wird daraus bestimmt nach

$$S = \frac{U_M}{k_e} \quad (3-4)$$

mit U_M = vom Pyranometer abgegebene Spannung (V)
 k_e = Eichkonstante des Pyranometers (V/W/m²)

Für das verwendete Pyranometer betrug die Eichkonstante

$$k_e = 10,58 \text{ } \mu\text{V/W/m}^2$$

und wird vom Hersteller für den Temperaturbereich von +20 °C bis -40 °C als nahezu konstant ($\pm 1 \%$) angegeben.

Die Abweichung von der Proportionalität zwischen der Spannung U_M und der Strahlung S beträgt bis zu einer Einstrahlung von 1 400 W/m² weniger als 0,5 %. Die Zeitkonstante beträgt 1 s, der Eingangswiderstand 668 Ω bei 23 °C /19/.

Die Empfangsfläche ist umgeben von zwei halbkugelförmigen Glaskuppeln, deren Durchlässigkeit im Wellenlängenbereich von 285-700 nm liegt. Die Luft unter der inneren Kuppel wird von einem Desiccator (Silica-gel) trocken gehalten.

Da die Orientierung dieses Pyranometers keinen Einfluß auf die Messung hat, konnte es im gleichen Winkel zur Horizontalen angebracht werden wie der Kollektorneigungswinkel ($\mu = 40^\circ$). Damit entspricht die gemessene Einstrahlung S der senkrecht auf die Kollektoren fallenden Strahlung, i.e. der "wirksamen" Strahlung.

Das verwendete Eppley-Pyranometer hat eine Genauigkeit von $\pm 2 \%$.

3.2.4 Messung der Windgeschwindigkeit v_w

Zur Messung der Windgeschwindigkeit wurde ein Schalenkreuzanemometer der Fa. Thies (Abb. 3-16) verwendet. Dieses befand sich ebenfalls auf dem schon in Kap. 3.2.2 erwähnten Meßturm und wird in /21/ beschrieben. Es besteht aus einem Rotor aus Kunststoff mit drei Armen, an deren Enden sich jeweils eine halbkugelförmige Kuppel befindet. Es ist frei dem Wind ausgesetzt. Damit ist die Drehung des Rotors proportional zur Windgeschwindigkeit. Diese Drehung wird über einen kleinen Generator in eine Spannung umgeformt, die Meßspannung U_M .

Im Bereich von 0,7 bis 20 m/s läßt sich die Windgeschwindigkeit aus der Gleichung

$$v_w = 0,639 \text{ m/s} + 0,041 \text{ m/smV} \cdot U_M \quad (3-5)$$

berechnen.

U_M liegt im Bereich von 0-500 mV, d.h. 500 mV entsprechen etwa 20 m/s. Da die Datenerfassungsanlage nur Spannungen bis 200 mV messen kann, wurde ein Spannungsteiler eingebaut /21/.

3.3 Die Meßschaltung

Der Meßwert der Pt 100 Temperaturfühler ist ihr temperaturabhängiger Widerstand R_T . Dieser sollte daher möglichst genau bestimmt werden. Es müssen also Zusatzwiderstände durch Löt- oder Steckverbindungen und die Widerstände der Verbindungsleitungen zwischen Datenerfassungssystem und Meßwertgeber ausgeschaltet werden. Das erreicht man mit Hilfe der Vierleitertechnik /22/.

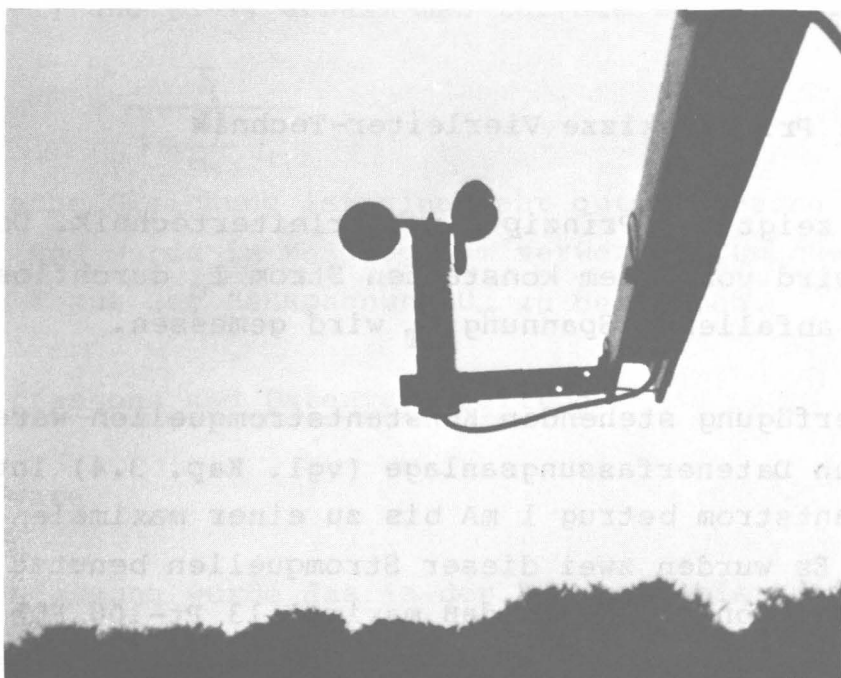


Abb. 3-16: Schalenkreuzanemometer zur Messung der
Windgeschwindigkeit

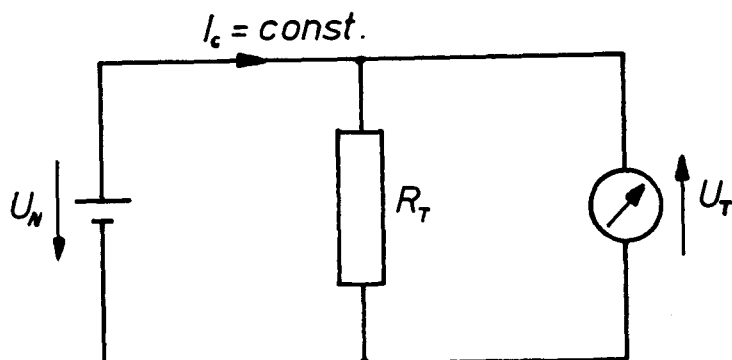


Abb. 3-17: Prinzipskizze Vierleiter-Technik

Abb. 3-17 zeigt das Prinzip der Vierleitertechnik. Der Widerstand R_T wird von einem konstanten Strom I_C durchflossen und die an R_T abfallende Spannung U_T wird gemessen.

Die zur Verfügung stehenden Konstantstromquellen waren in der verwendeten Datenerfassungsanlage (vgl. Kap. 3.4) integriert. Der Konstantstrom betrug 1 mA bis zu einer maximalen Belastung von 5 k Ω . Es wurden zwei dieser Stromquellen benutzt, je eine pro Thermosiphonsystem, so daß maximal 13 Pt-100 Fühler, also maximal 1,8 k Ω bei 100 °C, an einer Stromquelle hingen (Reihenschaltung). Im Verlauf der Messungen wurde der Konstantstrom mit Hilfe eines Digitalvoltmeters ständig kontrolliert, um etwaige Schwankungen festzustellen.

Der große Vorteil der Vierleiter-Technik liegt neben dem Ausschalten von Zusatzwiderständen darin, daß die Messung auf eine Spannungsmessung zurückgeführt wird. Die zu messende Spannung ist dann

$$U_T = I_C \cdot R_T \quad (3-6)$$

Diese temperaturabhängige Spannung U_T wurde nun auf die Datenerfassungsanlage gelegt, von der die Temperatur T nach folgender Näherung bestimmt wurde:

Vernachlässigt man den quadratischen Term in Gl. (3-1) so erhält man eine lineare Näherung T_l für die Temperatur

$$T_l = \frac{1}{\alpha_T} \left(\frac{R_T}{R_0} - 1 \right) = \frac{1}{\alpha_T} \left(\frac{U_T}{U_0} - 1 \right) \quad (3-7)$$

mit $U_0 = I_C \cdot R_0 = 100 \text{ mV}$ (Spannung bei 0°C)

Aus Gl. (3-1) und (3-7) erhält man für die Temperatur

$$T = \frac{T_l}{1 + \frac{\beta_T}{\alpha_T} T_l} \quad (3-8)$$

Diese einfache Gleichung ist eine sehr gute Näherung für Gl. (3-1) /23/ und wurde im Meßprogramm verwendet, um die Temperatur T aus der Meßspannung U_T zu bestimmen.

3.4 Datenerfassung und Datenverarbeitung

3.4.1 Hardware

Zur Datenerfassung wurde das in der KFA konzipierte System MADAS (Microprocessor Aided Data Aquisition System), ein Datenerfassungssystem für Experimente der Solarenergieanwendung /24/ benutzt (Abb. 3-18). Die Systemkonfiguration des MADAS zeigt Abb. 3-19. Das System ist aus einzelnen Modulen aufgebaut, welche alle der CAMAC-Norm entsprechen /25/. Die wichtigsten Module sind im einzelnen (Abb. 3-20)/26/

- Konstantstromquelle
- Analog-Digital-Konverter (ADC)
- Switch-board
- Modem
- Uhr
- Macamac Crate Controller
- 32 kbyte Zusatzspeicher

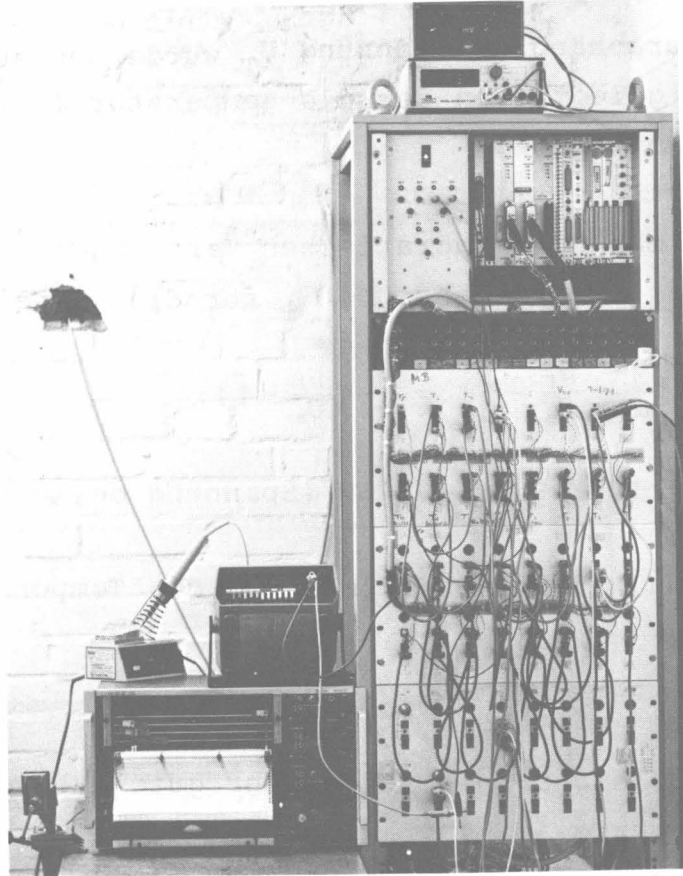


Abb. 3-18: Das System MADAS mit Zusatzgeräten

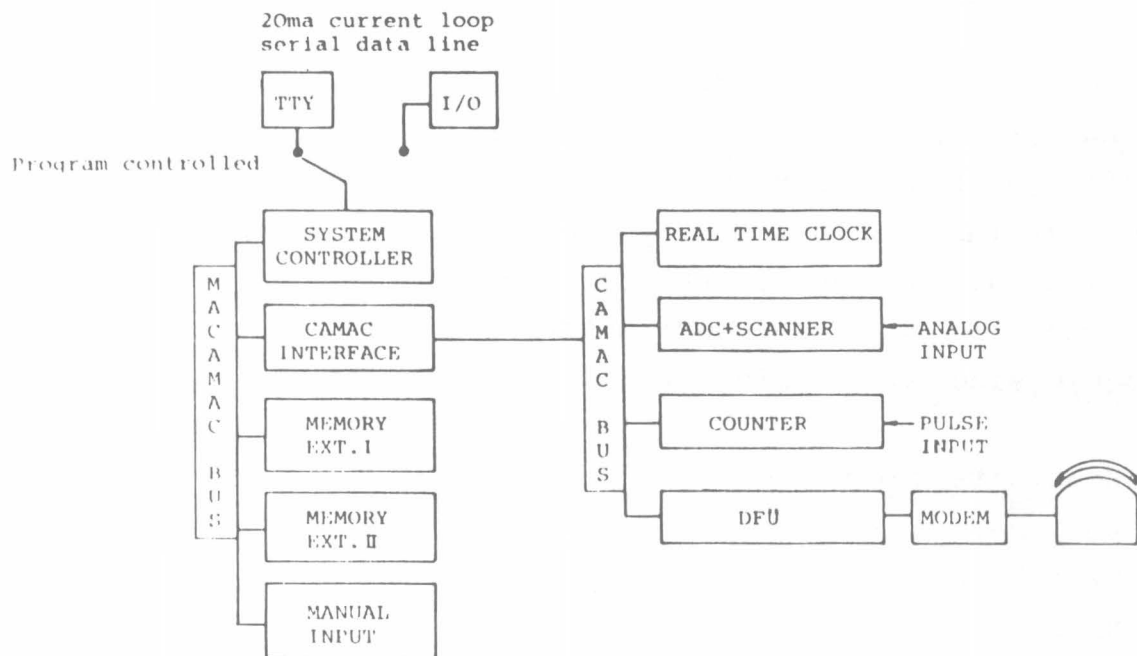


Abb. 3-19: Die Systemkonfiguration des MADAS

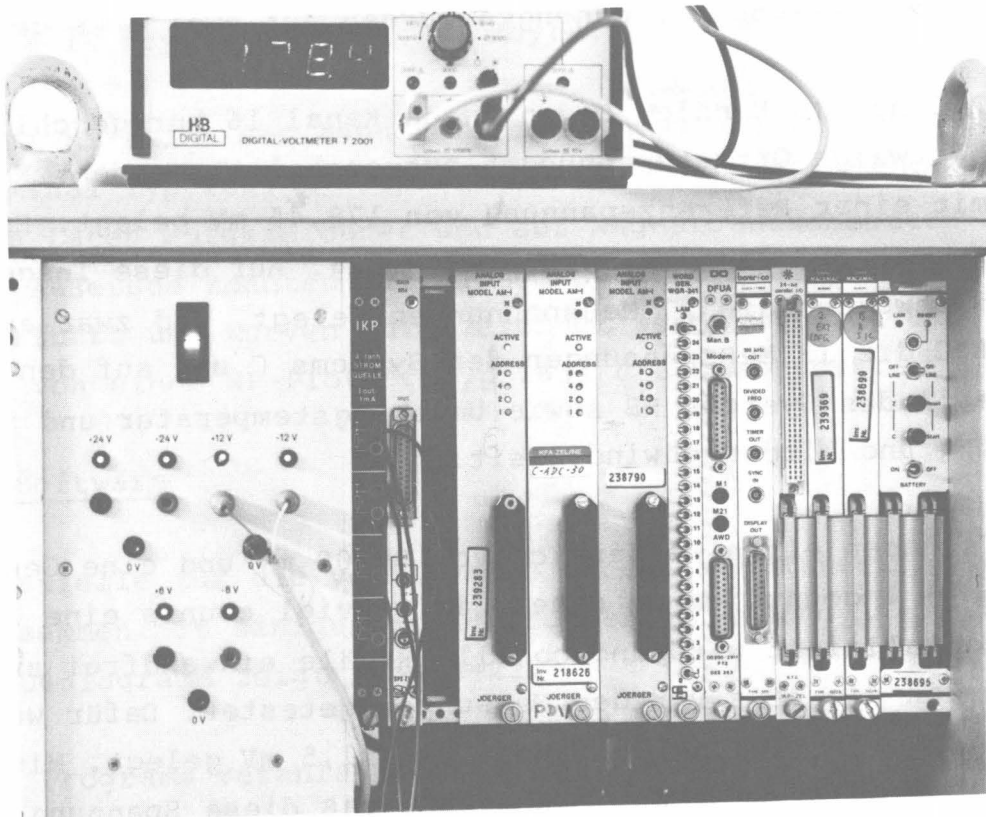


Abb. 3-20: Die Module des MADAS



Abb. 3-21: Das HP-Terminal Typ 2647 A

Von den Konstantstromquellen wurden, wie schon in Kap. 3.3 erwähnt, zwei benutzt, um die Pt100 Temperaturfühler zu versorgen. Die zu messenden Spannungen wurden auf zwei ADCs gelegt.

Jeder ADC hat 16 Kanäle. Davon wurde Kanal 16 kurzgeschlossen, wodurch etwaige Offsetspannungen ausgeschaltet wurden. Kanal 15 wurde mit einer Referenzspannung von 178,45 mV belegt. Es standen also pro ADC 14 Kanäle zur Verfügung. Auf diese insgesamt 28 Kanäle wurden die 27 Meßspannungen gelegt, und zwar auf einen ADC die 13 Meßspannungen des Systems C und auf den zweiten die 11 des Systems MB sowie Umgebungstemperatur und Solarstrahlung und Windgeschwindigkeit.

Die ADCs haben einen Meßbereich von 0-200 mV und eine Genauigkeit von ± 1 count. Um zu sehen, in wieviel counts eine Spannung digitalisiert wird und ob alle Kanäle einwandfrei arbeiten, wurden die ADCs vor den Messungen getestet. Dafür wurde an jeden Kanal die gleiche Spannung von 171,5 mV gelegt. Mit Hilfe eines Testprogramms konnte man sehen, daß diese Spannung in 1756 bzw. 1760 counts zerlegt wurde (Anhang A). Bei einer Genauigkeit von ± 1 count entspricht dies einer Auflösung von etwa 100 μ V. Da der Temperaturkoeffizient α_T für Pt-100 Meßwiderstände 0,379 Ω /K beträgt (Gl. 3-1), entspricht diese Auflösung für die vorhandene Meßeinrichtung ($I_C = 1$ mA) einer Genauigkeit von

$$\delta T_{ADC} = 0,256 \text{ } ^\circ\text{C} = \pm 0,13 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (3-9)$$

Das switch board diente zur manuellen Eingabe digitaler Zahlen, die dann z.B. eine Verzweigung im Programm veranlassen, etwa um den Speicher auszulesen.

Das Modem wurde in der vorliegenden Arbeit nicht benutzt. Es dient gewöhnlich zur Fernübertragung von Daten. Die Uhr steuert die zeitlichen Abläufe.

Der Macamac Crate Controller /27/ steuert und regelt die Abläufe. Er ist mit einem Intel 8080 Mikroprozessor ausgestattet,

welcher mit der Formalsprache Realtime Basic /28/ programmiert werden kann. Der Speicherplatz beträgt durch 2 zusätzliche Module à 16 kbyte insgesamt 34 kbyte.

Die Kommunikation des Benutzers mit dem MADAS erfolgte über ein HP-Terminal Typ 2647 A /29/ (Abb. 3-21). Mit diesem Gerät wurden die Daten aufgezeichnet und auf Magnetbandkassetten gespeichert. Außerdem konnten mit diesem Gerät einige Berechnungen durchgeführt und Kurven aufgezeichnet werden. Daten und Kurven wurden von einem HP-Plotter Typ 2631 G ausgedruckt.

3.4.2 Software

Das spezielle, für die vorliegende Arbeit benutzte Meßprogramm ist zusammen mit einigen Erläuterungen in Anhang A abgedruckt. Das Flußdiagramm zeigt Abb. 3-22.

Dieses Programm veranlaßt die Datenerfassungsanlage automatisch

- zur Abfrage der einzelnen Meßstellen
- zur iterativen Mittelwertbildung dieser Rohmeßwerte
- zum Abfragen der Uhr mit dem jeweiligen Datum
- zum Abspeichern
- zur Umwandlung der Rohmeßwerte in physikalische Größen
- zu zusätzlichen Berechnungen
- zum Outprint pro Meßintervall.

Der Aufbau eines solchen Outprints für ein Meßintervall ist zusammen mit allen in der vorliegenden Arbeit verwendeten Meßdaten in Anhang B abgedruckt. Die Länge des Meßintervalls wurde auf 30 min festgelegt, d.h. jeder Meßintervalloutprint gibt die Mittelwerte der vorangegangenen 30 min an.

Zusätzlich zu den Meßwerten wurden noch acht andere Werte berechnet und ausgedruckt, und zwar für jedes Thermosiphonsystem jeweils die Temperaturerhöhung im Kollektor ΔT_c , die mittlere Tanktemperatur T_m , gebildet aus den Meßwerten der Fühler im Tank, die Veränderung der Tanktemperatur ΔT_m in den

letzten 30 min sowie der Temperaturunterschied zwischen Tank und Umgebung ($T_m - T_u$) (vgl. Anhang B).

Über eine manuelle Eingabe über das switch board konnte der interne Speicher der Datenerfassungsanlage ausgelesen werden. In ihm wurden die Rohmeßwerte plus Datum plus Uhrzeit, also insgesamt 29 Werte pro Meßintervall abgespeichert. Bei der Meßintervalllänge von 30 min betrug die Speicherkapazität 62,5 Stunden (15 kbyte). Nach dieser Zeit überschreibt ein neuer Wert jeweils den ältesten, so daß vom Speicher immer die Werte der letzten 46 Stunden abgerufen werden konnten. Der Speicher hat zudem den Vorteil, daß die Werte nach einem Auslesezyklus nicht gelöscht werden (rotierender Stackspeicher).

3.5 Meßfehler

In den vorangegangenen Kapiteln wurden schon jeweils die Toleranzgrenzen einzelner Teile der gesamten Meßeinrichtung angegeben. Es soll hier die Genauigkeit der im Outprint angegebenen Meßwerte untersucht werden.

a) Die Temperaturmessungen

Laut Gl. (3-2) beträgt die Toleranz für Pt100 Temperaturfühler

$$\delta T_{Pt100} = \pm (0,15 + 0,002 |T|).$$

Bei der in den Thermosiphonanlagen maximal auftretenden Temperatur von $T = 60^\circ\text{C}$ ergibt sich eine maximale Abweichung zu

$$\delta T_{Pt100\text{max}} = \pm 0,27^\circ\text{C}.$$

Nimmt man die Genauigkeit der Datenerfassungsanlage nach Gl. (3-9)

$$\delta T_{ADC} = \pm 0,13^\circ\text{C}$$

hinzu, dann ergibt sich für die Genauigkeit der Einzelmessung

$$\delta T_{EM} = \pm 0,4^\circ\text{C} \quad (3-10)$$

Die im Outprint angegebenen Werte sind 30-min-Mittelwerte. Da der Abfragezyklus des MADAS ca. 18 s beträgt, setzen sich die ausgedruckten Meßwerte aus 102 Einzelmessungen zusammen. Nun ist es schwierig aus dem oben angegebenen Fehler der Einzelmessung den Fehler des ausgedruckten Mittelwertes zu bestimmen, weil während der 30-min-Intervalle teilweise große Temperaturschwankungen auftreten. Die zu messende Temperatur kann also während eines Meßintervalls nicht unbedingt als konstant betrachtet werden. Daher werden hier 5-min-Intervalle eingeführt, während derer die Temperaturen in guter Näherung als konstant angesehen werden können.

Während eines 5-min-Intervalls werden 17 Einzelmessungen ausgeführt, d.h. ein 5-min-Mittelwert setzt sich aus 17 Messungen zusammen. Für den mittleren Fehler eines Mittelwertes gilt nach der Fehlerrechnung

$$\delta T = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} = \frac{\delta T_{EM}}{\sqrt{n}} \quad (3-11)$$

mit δT = Standardabweichung des Mittelwertes (°C)

δT_{EM} = Abweichung der Einzelmessung (°C)

n = Anzahl der Messungen

Somit beträgt der mittlere Fehler eines 5-min-Mittelwertes ($n = 17$)

$$\delta T = \pm 0,1 \text{ °C} \quad (3-12)$$

Wenn - wie in den meisten Fällen - die Temperatur während längerer Zeiträume (30 min) keinen großen Schwankungen unterworfen ist, wird der Fehler aufgrund der Statistik wesentlich kleiner. Daher ist der in Gl. (3-12) angegebene Fehler, der größte auftretende Fehler. Er gilt für fast alle ausgedruckten Temperaturen.

Die Toleranz des Fühlers für die Umgebungstemperaturmessung ist nach Gl. (3-3) kleiner als die der anderen Temperaturfühler. Trotzdem kommt man durch programmbedingte Rundungsfehler auf

den gleichen Meßfehler δT für die Umgebungstemperaturmessung.

Nun muß die Fortpflanzung dieser Fehler auf die berechneten Werte untersucht werden.

Für die mittlere Tanktemperatur T_m , die aus 7 bzw. 9 30-min-Mittelwerten ermittelt wird, kann man als größtmöglichen Fehler ebenfalls den in Gl. (3-12) bestimmten angeben, also

$$\delta T_m = \pm 0,1 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (3-13)$$

Für die Differenzen ΔT_c , ΔT_m und $(T_m - T_u)$ kann man den Fehler mit Hilfe des Fehlerfortpflanzungsgesetzes von Gauß bestimmen

$$\delta(\Delta T_c) = \pm \sqrt{(\delta T_o)^2 + (\delta T_i)^2} \quad (3-14)$$

$$\delta(\Delta T_m) = \pm \sqrt{(\delta T_{m1})^2 + (\delta T_{m2})^2}$$

$$\delta(T_m - T_u) = \pm \sqrt{(\delta T_m)^2 + (\delta T_u)^2}$$

Da alle Einzelfehler (δT_o , δT_i , δT_{m1} , δT_{m2} , δT_m u. δT_u) gleich sind ergibt sich für alle Differenzen der gleiche Fehler von

$$\delta T_\Delta = \pm 0,14 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Durch programmbedingte Rundungsfehler erhöht sich der Fehler auf maximal

$$\delta T_\Delta = \pm 0,2 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (3-15)$$

Dies ist für die Differenzen scheinbar ein relativ großer Fehler. Wenn allerdings ΔT_c und ΔT_m sehr klein sind, dann heißt das, daß sich die Temperaturen im System kaum ändern. Damit werden die Einzelfehler sehr viel kleiner und damit auch der Fehler der Differenzen. Der maximale relative Fehler wird somit nicht größer als 5 %. Zusammenfassend kann man also für die Meßfehler δT festhalten

$$\frac{\delta T}{T} \leq 5 \% \quad (3-16)$$

b) Die Solarstrahlungsmessung

Das Pyranometer hat eine Genauigkeit von $\pm 2 \%$ (s. Kap. 3.2.3). Nimmt man als Höchstwert für die Strahlung 1000 W/m^2 an, so erhält man eine maximale Toleranz von $\pm 20 \text{ W/m}^2$. Hinzu kommt die Ungenauigkeit des Datenerfassungssystems. Eine Auflösung von $100 \text{ } \mu\text{V}$ (s. Kap. 3.4.1) entspricht einer Auflösung für die Strahlungsmessung von $9,5 \text{ W/m}^2$, also $\pm 4,7 \text{ W/m}^2$. Damit ergibt sich für die Einzelmessung eine Genauigkeit von

$$\delta S_{EM} = \pm 24,7 \text{ W/m}^2.$$

Auch hierbei kann man in guter Näherung davon ausgehen, daß die Strahlung während 5-min-Intervallen konstant ist. Damit ergibt sich für den maximalen Fehler der Strahlungsmessung (Anzahl der Messungen $n = 17$)

$$\delta S = \pm 6 \text{ W/m}^2 \quad (3-17)$$

Bei einer Einstrahlung von 200 W/m^2 entspricht dies einem Fehler von etwa 3% . Es gilt also

$$\frac{\delta S}{S} \leq 3 \% \quad (3-18)$$

Gl. (3-16) und (3-18) zeigen, daß die Meßfehler im Rahmen der an die vorliegende Arbeit gestellten Anforderungen liegen.

4 AUSWERTUNG

In diesem Kapitel soll zunächst versucht werden, die theoretischen Aussagen von Kapitel 2 an einem exemplarischen Tag ohne Entnahme zu verifizieren. Dann wird etwas über den Wirkungsgrad und das Zeitverhalten der Systeme ausgesagt (4.4).

In 4.5 wird das Verhalten der Systeme bei Entnahme untersucht, wobei zwei verschiedene Verbrauchsprofile gefahren wurden. Eine kurze Betrachtung der Wirtschaftlichkeit der Thermosiphonanlagen im Vergleich zu konventionellen Systemen wird Kapitel 4 beenden.

4.1 Bestimmung der mittleren Tanktemperatur T_m

Um die mittlere Tanktemperatur T_m nach Gl. (2-20) bestimmen zu können, benötigt man den zeitlichen Verlauf der Einstrahlung S (S_{\max} , ω_1) und der Umgebungstemperatur T_u (T_{u0} , T_{u1} , ω_2), die Kollektorkennwerte ($\tau\alpha$), F' , U_L und A_C sowie die Größen für die Nachtverluste U_T und A_T . Diese Größen sollen zunächst alle bestimmt werden, und zwar für einen exemplarischen Tag, den 10. Juni 1982. Die Meßdaten für diesen Tag sind Anhang B zu entnehmen.

4.1.1 Der zeitliche Verlauf der Solarstrahlung S

Abb. 4-1 zeigt den Verlauf der Solarstrahlung S vom 10.6.1982 in der Zeit von 8.00 bis 20.00 Uhr (durchgezogene Linie). In dieser Zeit wurde S durch eine Sinusfunktion nach Gl. (2-16)

$$S = S_{\max} \sin \omega_1 t$$

angenähert. Hierbei ergab sich

$$S_{\max} = 950 \text{ W/m}^2 \text{ und } \omega_1 = \pi/12 \text{ 1/h} = 0,26 \text{ 1/h}$$

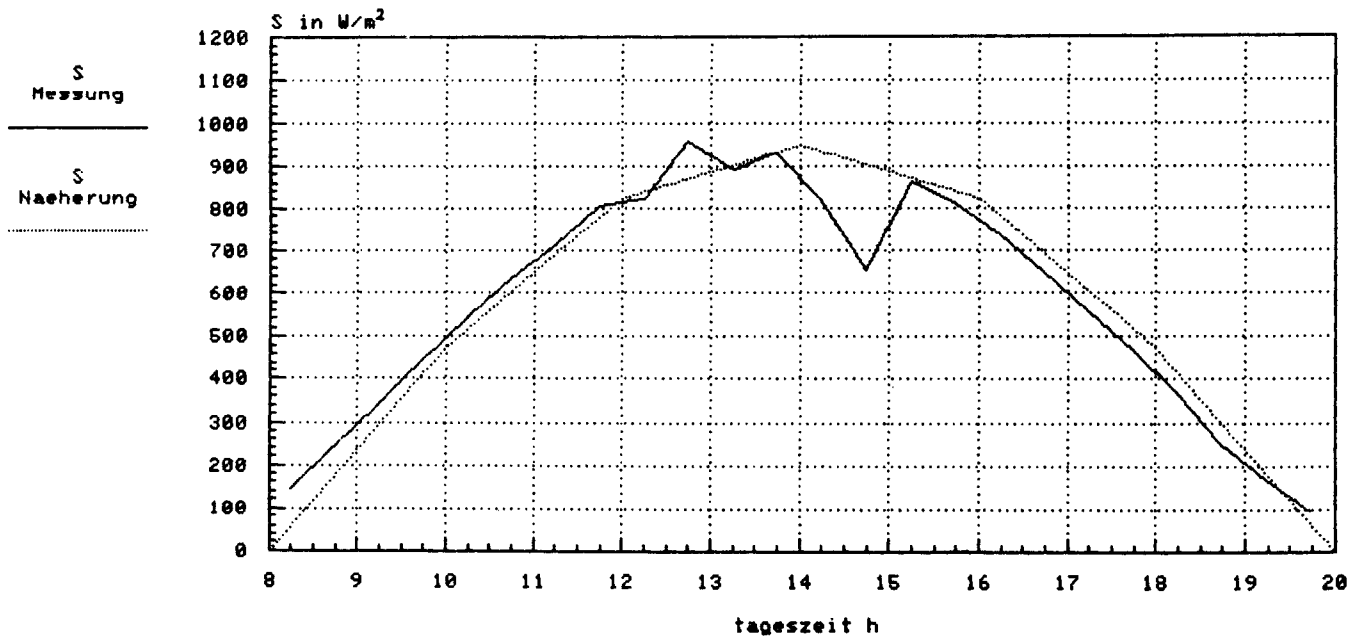


Abb. 4-1: Der zeitliche Verlauf der Solarstrahlung S vom 10. Juni 1982

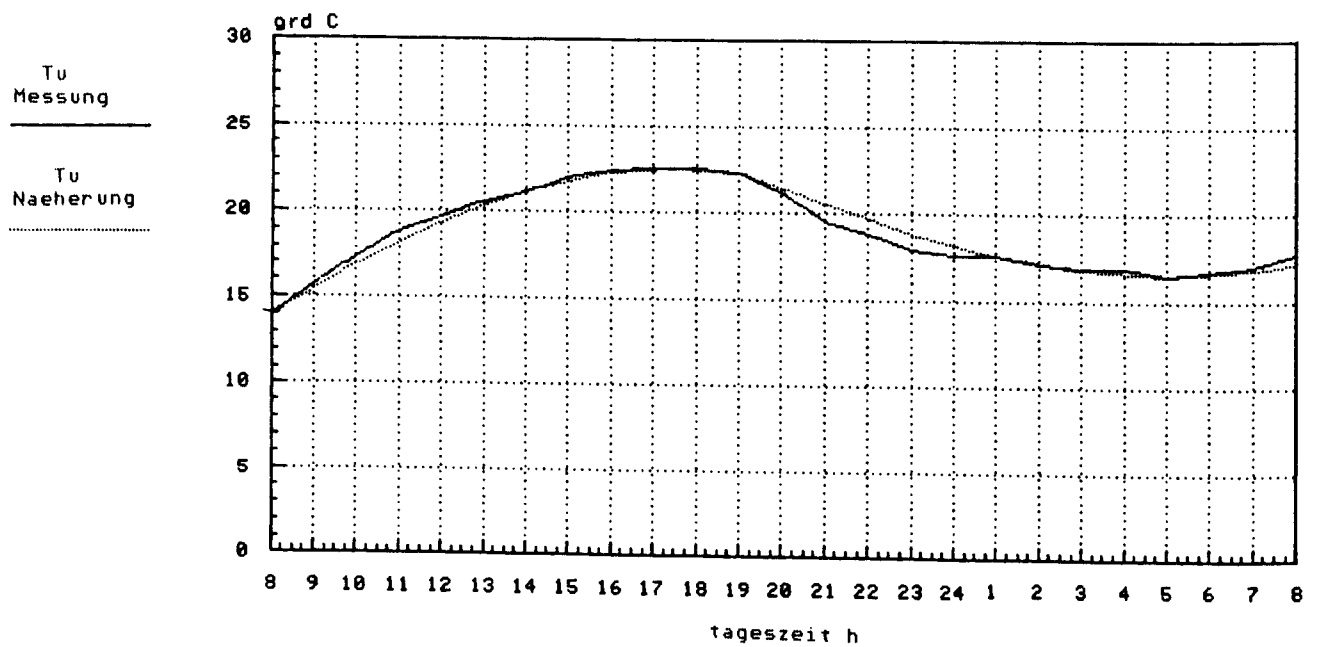


Abb. 4-2: Der zeitliche Verlauf der Umgebungstemperatur T_u vom 10. - 11. Juni 1982

so daß nun gilt:

$$S = (950 \sin 0,26 t/h) \text{ W/m}^2 \quad (4-1)$$

mit $0 \leq t \leq 12$ und $t = 0 \hat{=} 8.00 \text{ Uhr}$
 $t = 12 \hat{=} 20.00 \text{ Uhr}$

Bis auf den Strahlungseinbruch zwischen 14.00 bis 15.00 Uhr ist die Näherung nach Gl.(4-1) sehr gut (gepunktete Linie in Abb. 4-1). Durch den Einbruch wird der gesamte Strahlungseinfall an diesem Tag um 7 % höher eingeschätzt als tatsächlich vorhanden (s. Kap. 4.4.1).

4.1.2 Der zeitliche Verlauf der Umgebungstemperatur T_u

Abb. 4-2 zeigt den Verlauf der Umgebungstemperatur T_u vom 10.6.1982 8.00 Uhr bis zum 11.6.1982 8.00 Uhr (durchgezogene Linie). Die gepunktete Linie zeigt die Näherung nach Gl. (2-17).

$$T_u = T_{u0} + T_{u1} \sin \omega_2 t$$

In der Zeit von 8.00 bis 20.00 Uhr gilt:

$$T_{u0} = 14 \text{ } ^\circ\text{C}; T_{u1} = 8,6 \text{ } ^\circ\text{C} \text{ und } \omega_2 = \pi/19 \text{ 1/h} = 0,17 \text{ 1/h}$$

und damit

$$T_u = (14 + 8,6 \sin 0,17 t/h) \text{ } ^\circ\text{C} \quad (4-2)$$

mit $0 \leq t \leq 12$ und $t = 0 \hat{=} 8.00 \text{ Uhr}$
 $t = 12 \hat{=} 20.00 \text{ Uhr}$

In der Zeit von 19.00 bis 8.00 Uhr, also während der Nacht vom 10. auf den 11.6.1982 gilt

$$T_{u0} = 22,3 \text{ } ^\circ\text{C}; T_{u1} = -5,8 \text{ } ^\circ\text{C}; \omega_2 = \pi/20 \text{ 1/h} = 0,16 \text{ 1/h}$$

und damit

$$T_u = (22,3 - 5,8 \sin 0,16 t/h) \text{ } ^\circ\text{C} \quad (4-3)$$

mit $0 \leq t \leq 13$ und $t = 0 \hat{=} 19.00 \text{ Uhr (10.6.82)}$
 $t = 13 \hat{=} 8.00 \text{ Uhr (11.6.82)}$

4.1.3 Bestimmung des Wärmeverlustkoeffizienten für den Tank U_T

Die Tankverluste werden mit Gl. (2-21) beschrieben:

$$M c_p \frac{\Delta T_m}{\Delta t} = -U_T A_T (T_m - T_u)$$

oder

$$U_T = -\frac{M c_p \Delta T_m}{\Delta t A_T (T_m - T_u)} = -\frac{Q_{vT}}{\Delta t A_T (T_m - T_u)} \quad (4-4)$$

mit Q_{vT} = Wärmeverlust des Tanks (Ws)

A_T ist die gesamte Oberfläche des Tanks, i.e. die Zylinderfläche plus zweimal Querschnittsfläche, also

$$A_T = \pi d_T h + \frac{\pi d_T^2}{2} \quad (4-5)$$

mit d_T = Durchmesser des Tanks (m)

h = Tankhöhe (s. Abb. 3-10 und 3-11) (m)

In der folgenden Tabelle 4.1.3 sind die Werte, die man zur Berechnung von U_T benötigt, für beide Thermosiphonanlagen über die ganze Nacht vom 10.6. bis zum 11.6.1982 morgens zusammengestellt:

Parameter	Einheit	System MB	System C
M	kg	110	200
c_p	J/kg K	4 182	4 182
ΔT_m	$^{\circ}\text{C}$	- 3,6	- 5
Q_{vT}	kWh	- 0,46	- 1,16
Δt	h	0,5	0,5
d_T	m	0,465	0,55
h	m	0,64	0,85
A_T	m^2	1,27	1,94
$\Sigma(T_m - T_u)$	$^{\circ}\text{C}$	728 (21-8 Uhr)	630 (19-8 Uhr)

Tab. 4.1.3: Werte zur Berechnung von U_T (10.-11.6.82)

In der Tabelle wurden die Meßwerte ($T_m - T_u$) über die gesamte Zeit, in der das System Energie verliert, also ΔT_m negativ ist, aufsummiert, wobei das Meßintervall jeweils eine halbe Stunde ($\Delta t = 0,5 \text{ h}$) betrug. Der gesamte Verlust über diese Zeit wird in der Tabelle durch Q_{vT} angegeben. Der mittlere Wärmeverlustkoeffizient U_T berechnet sich damit zu

$$U_T = \frac{-Q_{vT}}{\Delta t A_T \Sigma(T_m - T_u)} \quad (4-6)$$

Mit den Werten aus Tab. 4.1.3 ergibt sich für

das System MB: $U_{TMB} = 1 \text{ W/m}^2\text{K}$ und
das System C: $U_{TC} = 1,9 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Die Werte bestätigen, daß der Tank des Systems MB wesentlich besser isoliert ist.

Abb. 4-3 zeigt den Verlauf der Nachtverluste vom 10.-11.6.1982 für beide Systeme. Zusammenfassend kann man festhalten, daß die Verluste des Systems C etwa um einen Faktor 2 höher liegen.

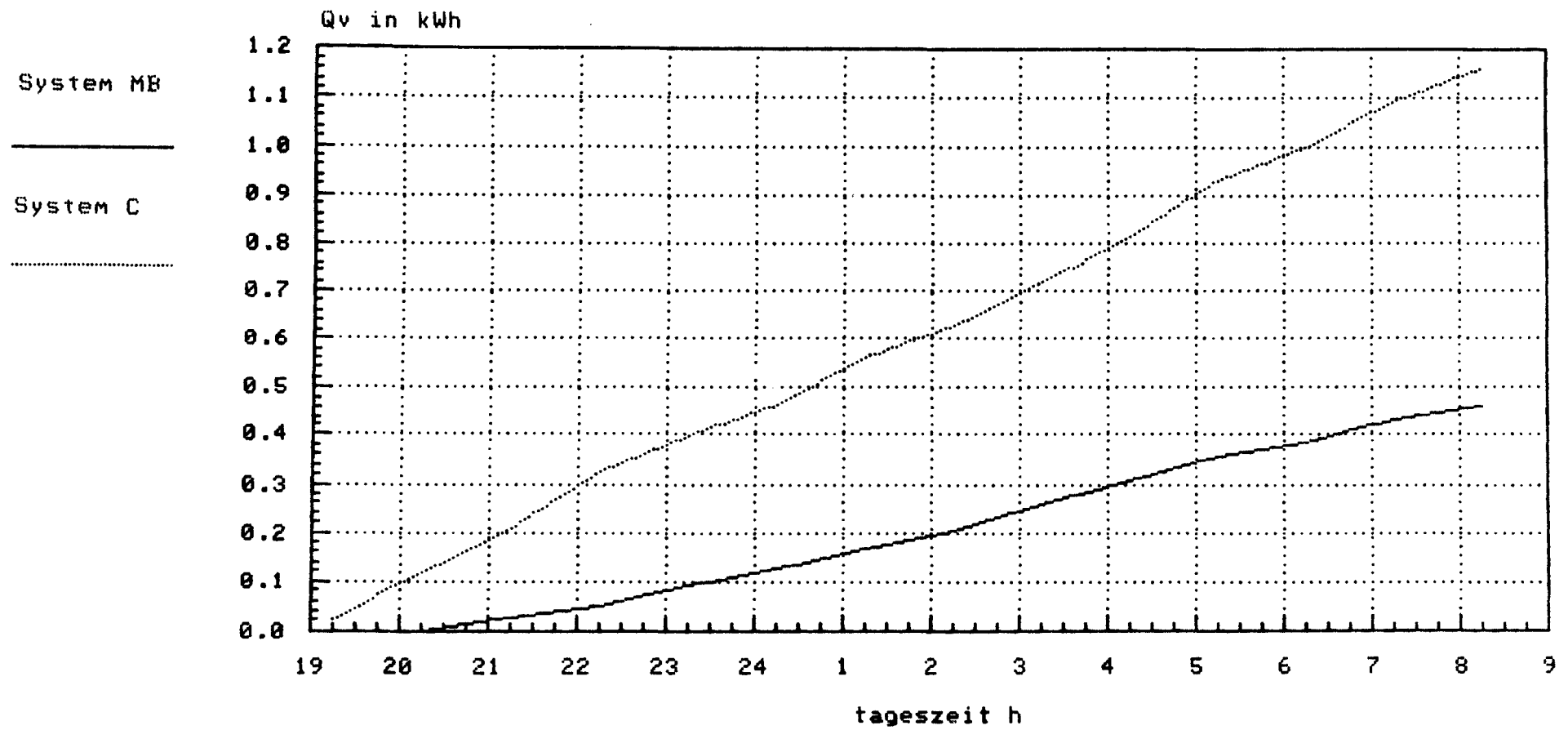


Abb. 4-3: Der Wärmeverlust der Tanks Q_{VT} während der Nacht (10.-11.6.82)

4.1.4 Das HWB-Kollektormodell

Mit dem HWB-Kollektormodell sollen die Kollektorkennwerte F' und U_L aus den Meßwerten bestimmt werden (s. Kap. 2.2a). Dazu müssen das Produkt $(\tau\alpha)$ und der Kollektorwirkungsgrad η_c bekannt sein.

4.1.4.1 Das Produkt $(\tau\alpha)$

Der Wert τ gibt die Transmission der Glasabdeckung des Kollektors und α die Absorption der Beschichtung des Absorbers an. α war für beide Thermosiphonsysteme angegeben, während τ nicht bekannt war. Es mußte also gemessen bzw. berechnet werden:

a) System MB

Für die Beschichtung des Absorbers wurde 3 M-Kollektorlack verwendet, für den gilt

$$\alpha = 0,94.$$

Der Transmissionskoeffizient τ wurde gemessen, indem ein Pyranometer die Einstrahlung direkt aufnahm und ein zweites Pyranometer die Einstrahlung unter der Glasscheibe des Kollektors aufzeichnete. Aus der Division dieser beiden Meßwerte ergab sich der Transmissionskoeffizient zu

$$\begin{aligned} \tau &= 0,85 \text{ für die Einfachglasabdeckung} \\ \text{und } \tau &= 0,73 \text{ für die Doppelglasabdeckung.} \end{aligned}$$

Damit ergibt sich für das System MB:

$$\begin{aligned} (\tau\alpha) &= 0,8 \quad \text{für Einzelscheibe} & (4-7) \\ (\tau\alpha) &= 0,69 \quad \text{für Doppelscheibe} \end{aligned}$$

b) System C

Beim System C wurde für die Absorberbeschichtung BASF-Kollektorlack verwendet (siehe Kap. 3.1) mit

$$\alpha = 0,93$$

Die Durchlässigkeit τ konnte nicht gemessen werden, da das Glas, wie schon in Kap. 3.1 erwähnt, nicht abgenommen werden konnte. Da es sich aber um 3 mm dickes Fensterglas handelte, konnte τ nach /11/ berechnet werden. Es gilt

$$\tau = \tau_a \cdot \tau_r$$

mit τ_a = Durchlässigkeit bei reinen Absorptionsverlusten
 τ_r = Durchlässigkeit bei reinen Reflexionsverlusten

wobei

$$\tau_a = e^{-x l_g}$$

mit x = Extinktionskoeff. (von der Glasart abhängig) (m^{-1})
 l_g = Glasdicke (m)

und bei senkrechtem Strahlungseinfall

$$\tau_r = \frac{1-g}{1+g}$$

mit $g = \left(\frac{n-1}{n+1}\right)^2$ = Reflexionsvermögen (Fresnel-
sches Reflexionsgesetz)

n = Brechungsindex

Mit einem mittleren Brechungsindex von Glas für Sonnenlicht von 1,44 und einem Extinktionskoeffizienten für Fensterglas von $0,1 \text{ cm}^{-1}$ ergibt sich für die 3 mm dicke Scheibe:

$$\tau = 0,91 \quad (\tau_r = 0,94 / \tau_a = 0,97)$$

Damit ergibt sich für das System C

$$(\tau\alpha) = 0,85 \quad (4-8)$$

4.1.4.2 Der Kollektorwirkungsgrad

Die Leistungsbilanz für den Kollektor lautet nach Gl. (2-3) und (2-8):

$$\dot{m} c_p \Delta T_c + \dot{Q}_{vc} = \eta_c A_c S \quad (4-9)$$

und damit für das System

$$\frac{M c_p \Delta T_m}{\Delta t} + \dot{Q}_{vT} = \eta_c A_c S \quad (4-10)$$

Folglich ergibt sich für den Kollektorwirkungsgrad:

$$\eta_c = \frac{\frac{M c_p \Delta T_m}{\Delta t} + \dot{Q}_{vT}}{S A_c} \quad (4-11)$$

In Tab. 4.1.4 sind die η_c -Werte für beide Systeme für den 10.06.82 von 10 - 18 Uhr zusammengestellt, wobei $\Delta t = 1$ h gewählt wurde, d.h. es handelt sich um 1-Stunden-Mittelwerte, was auch für S und ΔT_m gilt.

4.1.4.3 Die Kollektorkennwerte F' und U_L

Die Kollektorgrößen F' und U_L lassen sich aus der HWB-Gleichung (2-8) bestimmen

$$\eta_c = F' \left[(\tau \alpha) - U_L \frac{(T_a - T_u)}{S} \right]$$

In Tab. 4.1.4 sind die Werte für η_c und $(T_a - T_u)/S$ zusammengestellt und die Abb. 4 - 4 und 4 - 5 zeigen den Plot η_c gegen $(T_a - T_u)/S$. Man sieht, daß sich sehr gute Geraden ergeben mit einer Korrelation von 94 % (MB) und 86 % (C). Aus der Steigung der Geraden B und dem Schnittpunkt mit der y-Achse, kann man nun mit Gl. (2-8) die Kollektorkennwerte F' und U_L bestimmen. Es ergibt sich:

	System MB	System C
F' :	0,7	0,82
U_L :	4,5 W/m ² K	5,3 W/m ² K

Parameter	Einheit	System MB			System C		
M	kg	110			200		
c_p	Wh/kgK	1,16			1,16		
A_c	m ²	1,5			1,75		
Δt	h	1			1		
Tageszeit	$(T_a - T_u)/S$ in $10^2 m^2 K/W$		η_c in %	$(T_m - T_u)/S$ in $10^2 m^2 K/W$	$(T_a - T_u)/S$ in $10^2 m^2 K/W$	η_c in %	$(T_m - T_u)/S$ in $10^2 m^2 K/W$
10,15	1,78		51,3	0,4	0,33	69,3	0,15
11,15	1,12		51,2	0,39	0,38	68,1	0,38
12,15	1,44		50,9	0,84	0,69	66,6	0,65
13,15	1,35		49,5	1,2	0,96	65	0,95
14,15	1,53		50,7	1,82	1,42	66,5	1,43
15,15	2,06		48	2,58	2,02	58,2	2
16,15	2,94		48,9	2,97	2,29	61,6	2,3
17,15	4,35		45,4	4,32	3,25	45,9	3,26
18,15	6,5		32,4	6,79	5,08	52,3	5,16
$\bar{\eta}_c$	0,48			0,61			

Tab. 4.1.4: Werte für das HWB-Kollektormodell

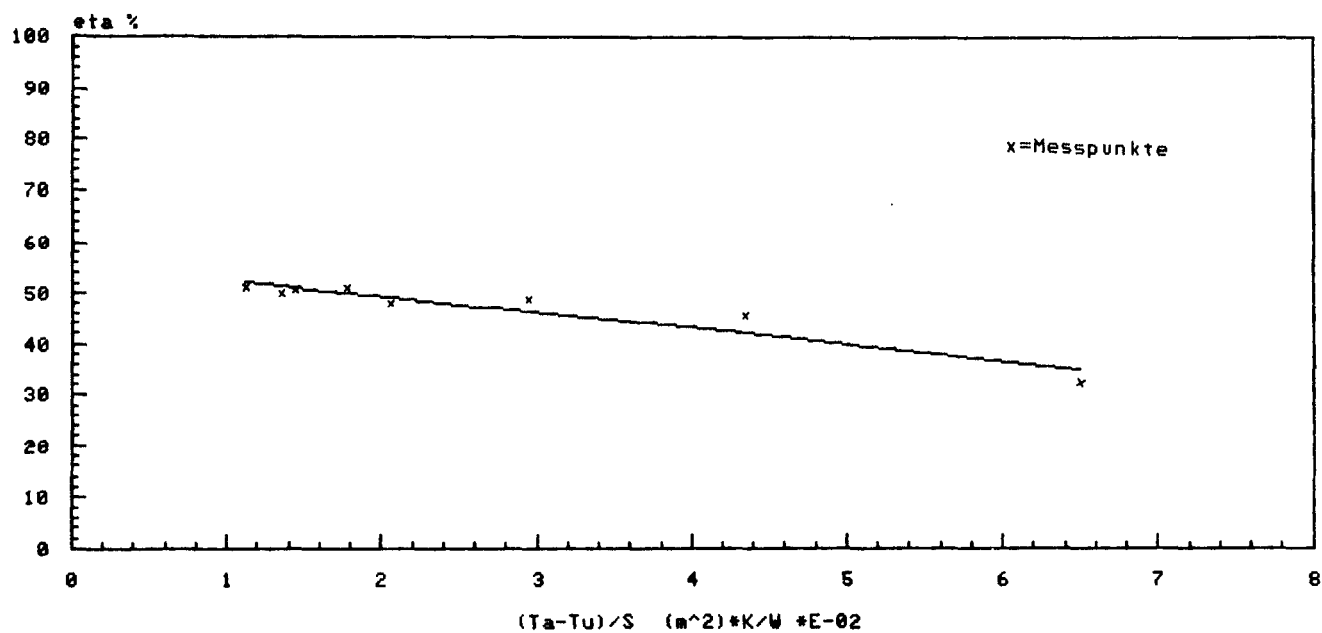


Abb. 4-4: Das HWB-Kollektormodell für System MB

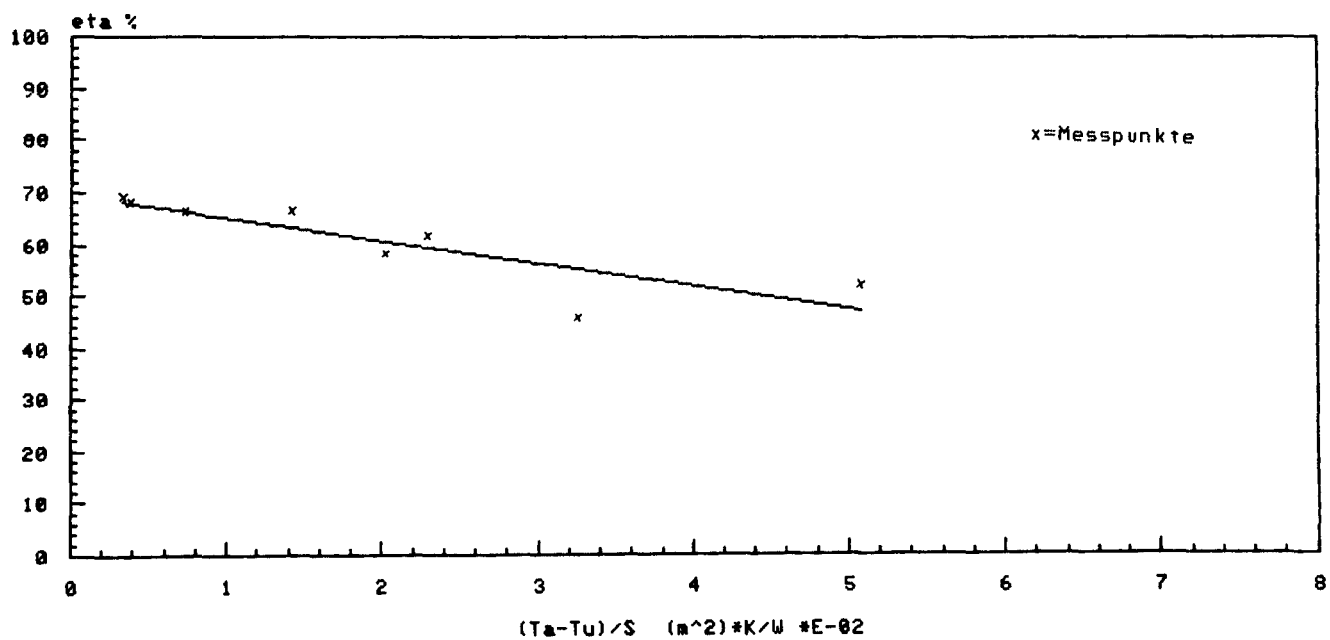


Abb. 4-5: Das HWB-Kollektormodell für System C

Diese Werte wurden für den 10.06.82 berechnet, wobei das System MB mit der Einfachglasabdeckung betrieben wurde ($\tau\alpha = 0,8$). Für die Berechnungen mit Doppelscheibe ($\tau\alpha = 0,69$) wurden die Meßwerte vom 03.06.82 (siehe Anhang B) benutzt. Nach den gleichen Berechnungen wie oben ergibt sich für den Mildebrath-Kollektor damit:

$$F' = 0,77 \quad \text{und} \quad U_L = 3,9 \text{ W/m}^2\text{K (vgl. Kap. 4.4.2)}$$

F' und U_L sind Maße für die Güte der Kollektoren. Der Absorberwirkungsfaktor F' stellt das Verhältnis der Nutzenergie bei einer fiktiven mittleren Absorbertemperatur $T_a = (T_o + T_i)/2$ zur tatsächlich auftretenden bei T_A dar [30]. Er ist also ein Maß für die Linearität der Temperaturverteilung im Absorber, welche somit für den MB-Kollektor schlechter ist als für den C-Kollektor, was mit der Konstruktion des Absorbers zusammenhängt. Der mittlere Wärmeübergangskoeffizient des Kollektors U_L enthält sämtliche Verluste eines Kollektors. Je besser ein Kollektor ist, desto kleiner wird U_L .

Für die Berechnung von T_m nach Gl. (2-20) wird vorausgesetzt, daß während der Zeit der Einstrahlung

$$T_m = T_a = (T_o + T_i)/2$$

ist. Die Abb. 4-6 und 4-7 zeigen inwieweit diese Voraussetzung zutrifft. Man erhält für System C eine sehr gute Übereinstimmung. Dagegen ergeben sich für das System MB doch teilweise große Abweichungen, besonders am Vormittag. Gründe dafür können der geringe Durchfluß (siehe Kap. 4.2) und damit eine ungenügende Kühlung des Absorbers sein, was sich besonders in der Zeit, während der die Strahlung ansteigt, also am Vormittag, bemerkbar macht. Ein weiterer Grund könnten Einschwingvorgänge sein, wie sie bei System MB auftreten (vgl. Kap. 4.4.3). Diese relativ geringe Trägheit des Systems MB ist auch der Grund für die Abweichung zwischen 14 und 15 h, denn während dieser Zeit ist der Strahlungseinbruch (s. Abb. 4-1). Das System C ist sehr viel träger. Daher zeigt es keine Abweichung während des Strahlungseinbruchs am Mittag.

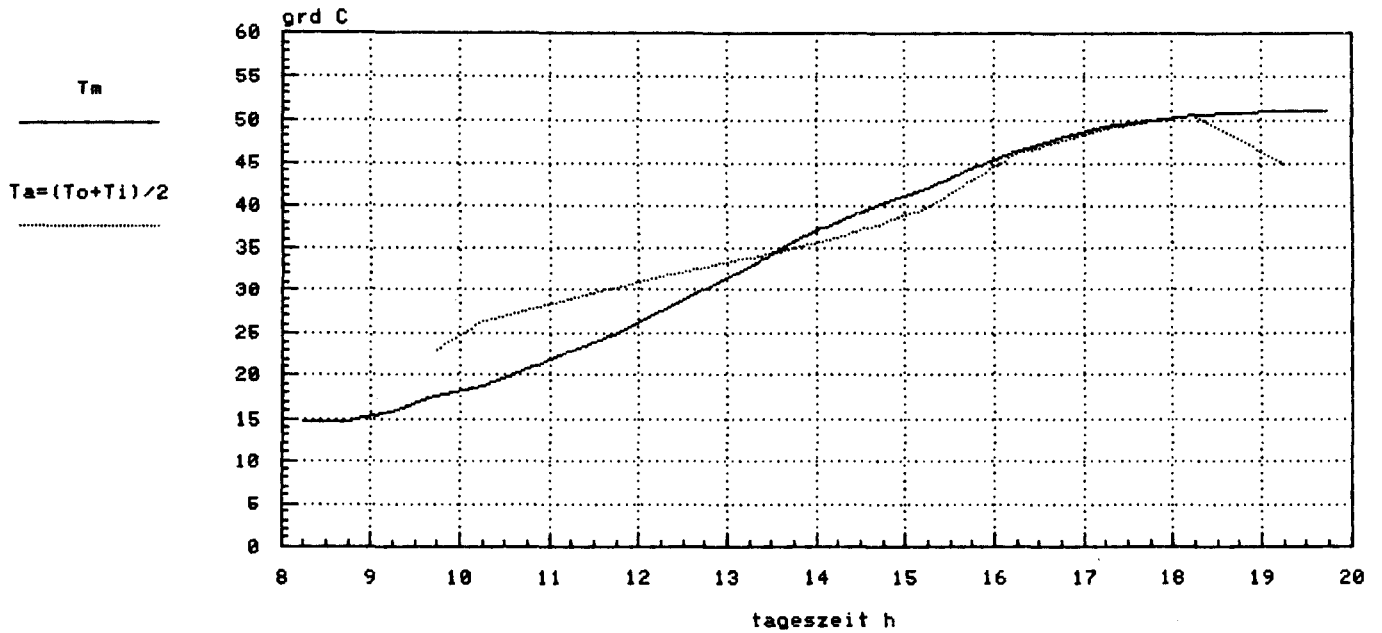


Abb. 4-6: Die mittlere Tanktemperatur T_m und die mittlere Absorbtemperatur T_a für System MB (10.6.82)

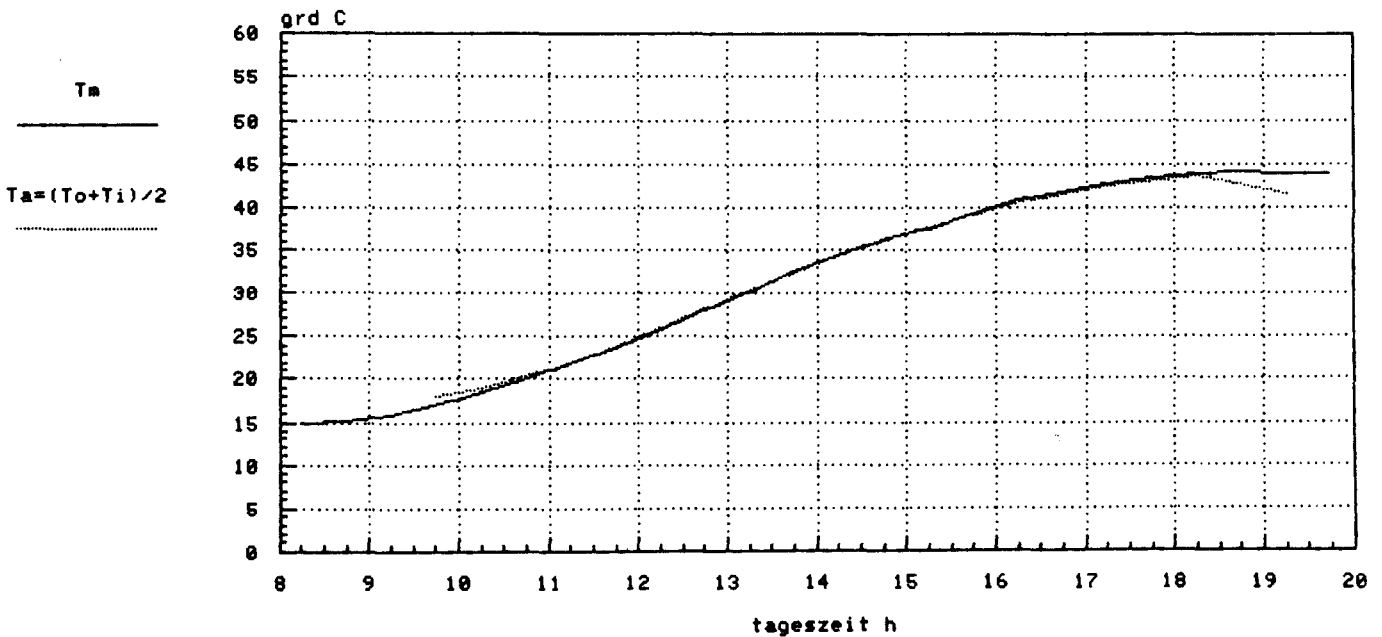


Abb. 4-7: Die mittlere Tanktemperatur T_m und die mittlere Absorbtemperatur T_a für System C (10.6.82)

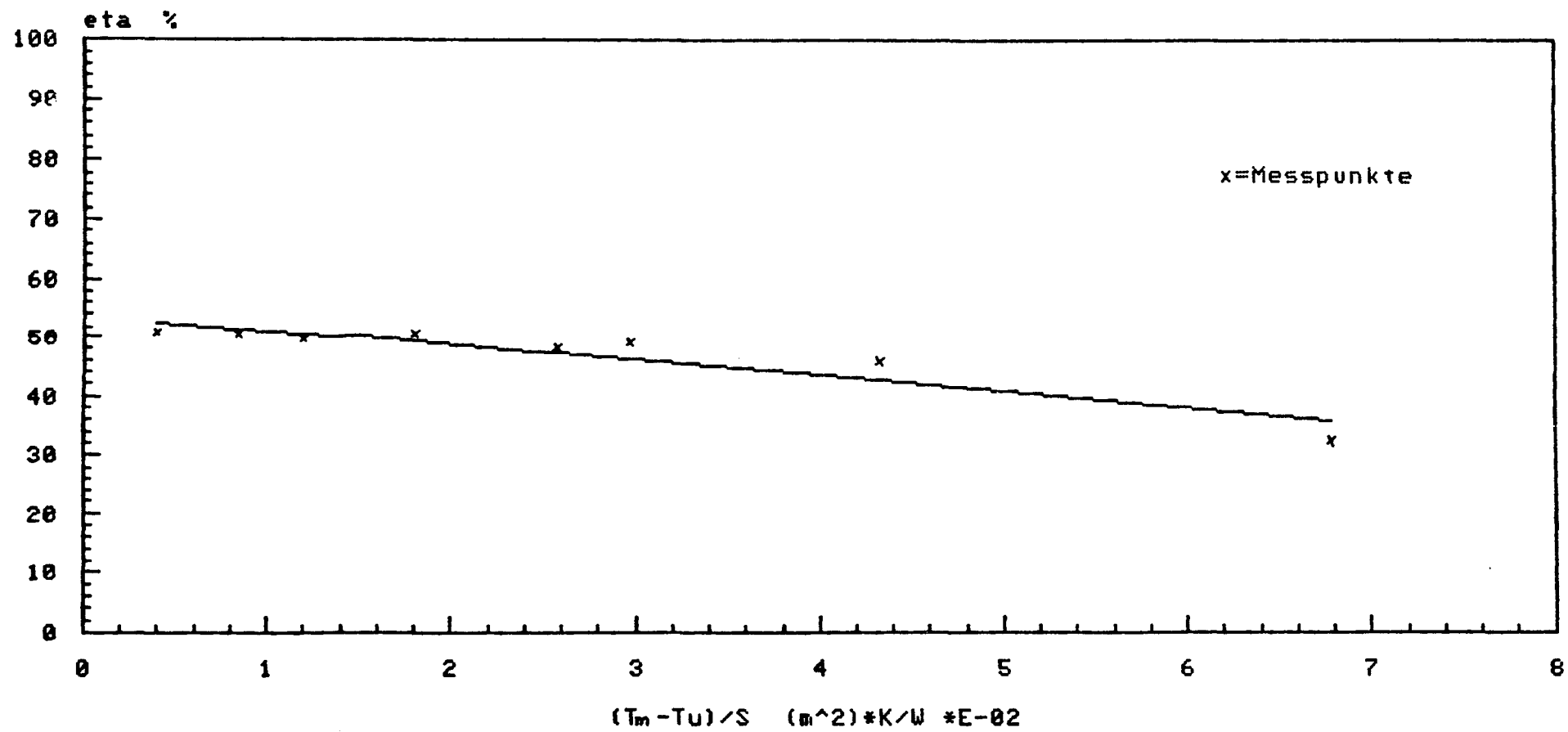


Abb. 4-8: Korrektur des HWB-Kollektormodells für System MB

Da die Voraussetzung $T_m = T_a$ für das System MB nicht ganz zutrifft, wurde die HWB-Gleichung korrigiert (vgl. Abb. 4-8). Daraus ergeben sich folgende Werte

$$F' = 0,67 \text{ und } U_L = 4 \text{ W/m}^2 \text{ K}$$

Es sind geringe Abweichungen zu den oben berechneten Werten vorhanden, die allerdings für die Berechnung von T_m kaum eine Rolle spielen, wie man in Kap. 4.1.5 sieht.

4.1.5 Der zeitliche Verlauf der mittleren Tanktemperatur T_m und der Erhöhung der Tanktemperatur dT_m/dt während der Zeit der Einstrahlung

Den zeitlichen Verlauf der mittleren Tanktemperatur T_m beschreibt Gl. (2-20):

$$T_m(t) = T_{m0} e^{-pt} + \frac{a_2}{p} (1 - e^{-pt}) + \frac{a_1}{\omega_1^2 + p^2} (p \sin \omega_1 t - \omega_1 \cos \omega_1 t) + \frac{a_1 \omega_1}{\omega_1^2 + p^2} e^{-pt} + \frac{a_3}{\omega_2^2 + p^2} (p \sin \omega_2 t - \omega_2 \cos \omega_2 t) + \frac{a_3 \omega_2}{\omega_2^2 + p^2} e^{-pt}$$

$$\text{mit } p = \frac{U_L F' A_c + U_T A_T}{M c_p}$$

$$a_1 = \frac{(\tau \alpha) F' A_c S_{max}}{M c_p}$$

$$a_2 = p T_{v0}$$

$$a_3 = p T_{v1}$$

In den vorangegangenen Kapiteln wurden alle für diese Gleichung benötigten Werte berechnet. T_{m0} ist die mittlere Tanktemperatur zur Zeit $t=0$, also 8 Uhr. Sie entspricht der Temperatur des Wassers mit dem die Anlagen gefüllt wurden. Alle Werte sind übersichtlich in Tab. 4.1.5 zusammengestellt.

Parameter	Einheit	System MB	System C
T_{mo}	$^{\circ}C$	15	15
U_L	W/m^2K	4,5 (4)	5,3
F		0,7 (0,67)	0,82
A_C	m^2	1,5	1,75
U_T	W/m^2K	1	1,9
A_T	m^2	1,27	1,94
M	kg	110	200
c_p	Wh/kgK	1,16	1,16
$(\tau\alpha)$		0,8	0,85
S_{max}	W/m^2	950	950
ω_1	$1/h$	0,26	0,26
T_{uo}	$^{\circ}C$	14	14
T_{u1}	$^{\circ}C$	8,6	8,6
ω_2	$1/h$	0,17	0,17
p	$1/h$	0,047 (0,042)	0,049
a_1	$^{\circ}C/h$	6,25 (6)	5
a_2	$^{\circ}C/h$	0,66 (0,58)	0,68
a_3	$^{\circ}C/h$	0,4 (0,36)	0,42

Tab. 4.1.5: Werte zur Berechnung von T_m

Die Zahlen in Klammern bezeichnen die Werte für U_L und F' des Systems MB, wenn man im HWB-Modell $T_m = T_a = (T_o + T_i)/2$ setzt (vgl. Kap. 4.1.4.3). Die sich aus den Werten von Tab. 4.1.5 ergebenden zeitlichen Verläufe der mittleren Tanktemperaturen zeigen die Abb. 4-9 und 4-10. Es wurden die theoretischen Kurven den gemessenen gegenübergestellt. Dabei zeigt sich eine sehr gute Übereinstimmung zwischen Theorie und Experiment. Kleine Abweichungen besonders am späten Nachmittag sind auf den Strahlungseinbruch zwischen 14 und 15 Uhr (siehe Kap. 4.1.1) zurückzuführen. Dadurch stand theoretisch etwa 7 % mehr Energie zur Verfügung. Die größte Abweichung zwischen theoretischem und gemessenem T_m beträgt 6,5 %! Daß diese Abweichung sehr viel später eintritt als das sie verursachende Strahlungsdefizit, ist auf die Trägheit der Systeme zurückzuführen (vgl. Kap. 4.4.3).

Die dritte Kurve in Abb. 4-9 zeigt den Verlauf von T_m mit den Kollektorkennwerten aus Abb. 4-8 berechnet ($T_m = T_a = (T_o + T_i)/2$). Die geringe Abweichung von der anderen Kurve zeigt, daß die Abweichung der mittleren Tanktemperatur T_m von der mittleren Absorbertemperatur T_a (Abb. 4-6) kaum Einfluß auf den Verlauf von T_m hat.

Die Abb. 4-11 und 4-12 zeigen die gemessenen und theoretischen Verläufe der Temperaturerhöhung im Tank $\Delta T_m / \Delta t$ für beide Anlagen, wobei $\Delta t = 30 \text{ min}$ ist. Zur Berechnung wurde Gl. (2-19) herangezogen.

$$\frac{dT_m}{dt} = -p T_m + a_1 \sin \omega_1 t + a_2 + a_3 \sin \omega_2 t$$

Alle zur Berechnung benötigten Werte wurden ebenfalls Tab. 4.1.5 entnommen.

Auch hierbei ist eine sehr gute Übereinstimmung der Theorie mit dem Experiment festzustellen. Die Auswirkungen des Strahlungsdefizits zwischen 14 und 15 Uhr auf ΔT_m weisen kaum eine Zeitverschiebung auf, d.h. etwaige Schwankungen der Energie-

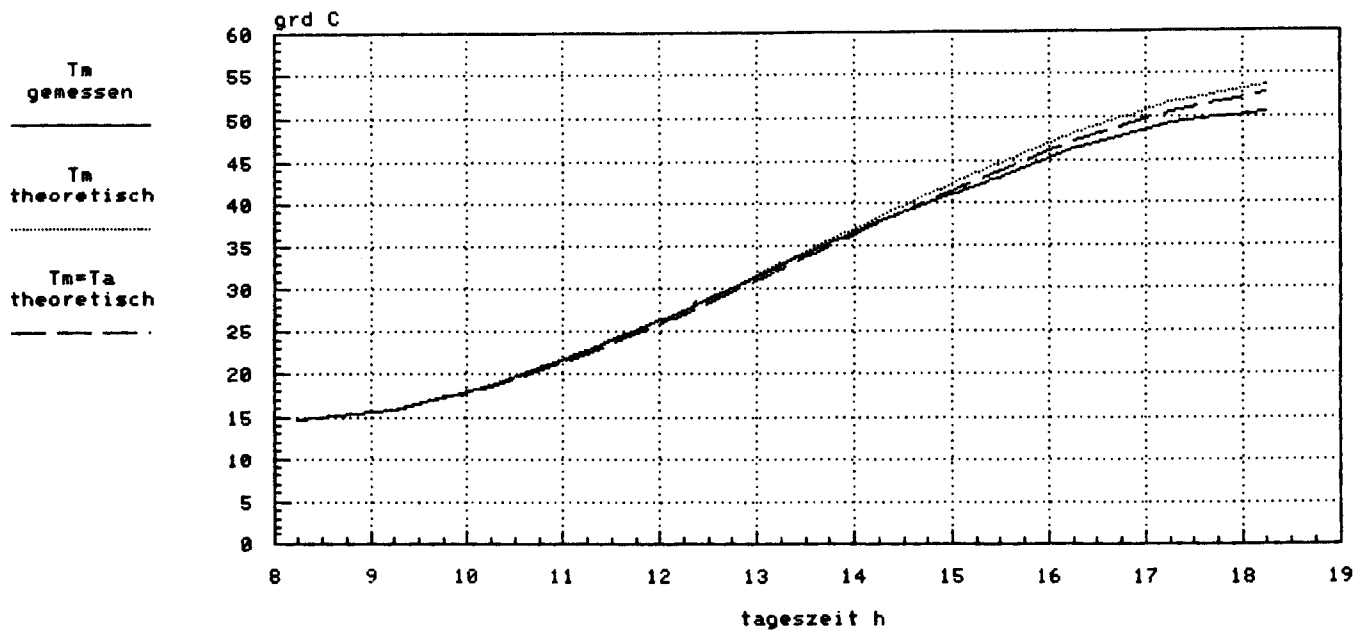


Abb. 4-9: Die mittlere Tanktemperatur T_m (experimentell und theoretisch) während der Zeit der Einstrahlung für System MB (10.6.82)

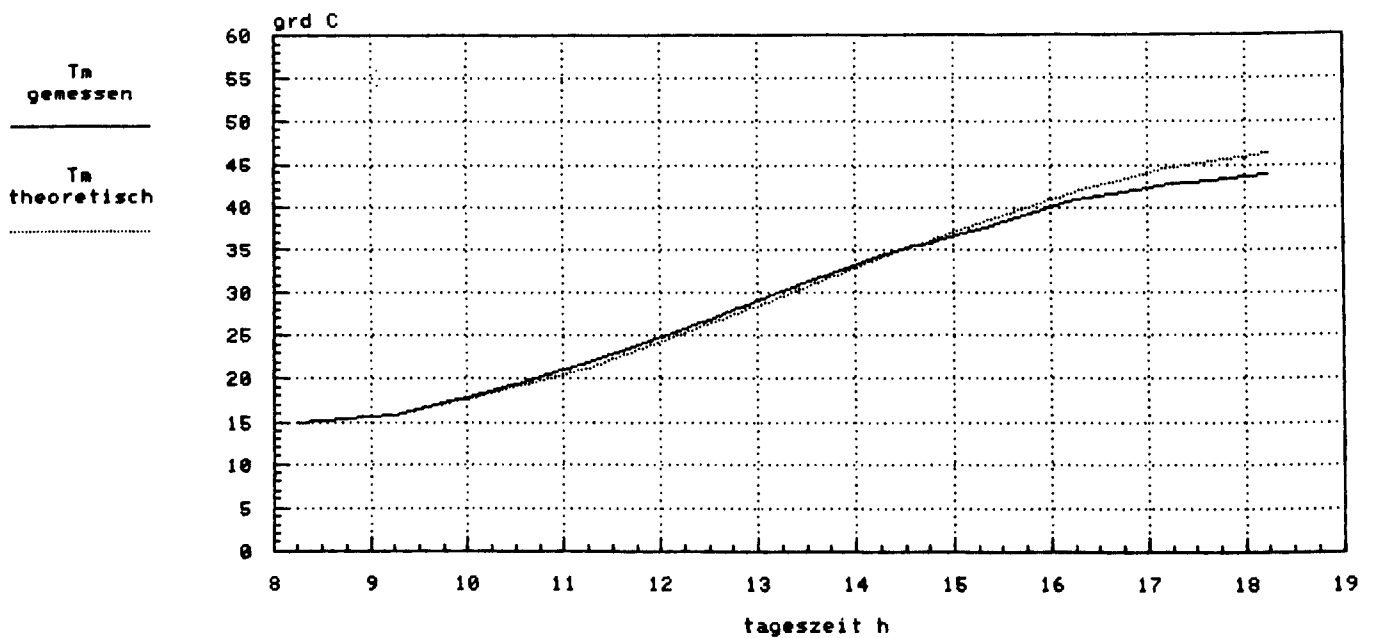


Abb. 4-10: Die mittlere Tanktemperatur T_m (experimentell und theoretisch) während der Zeit der Einstrahlung für System C (10.6.82)

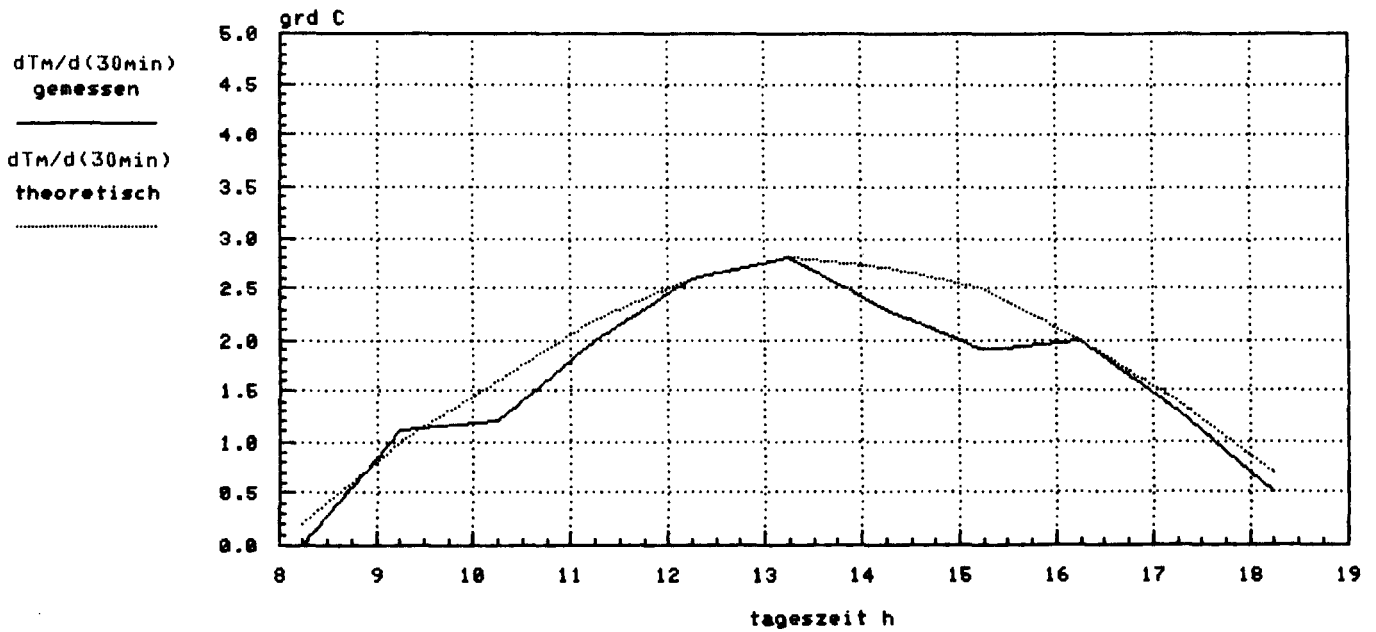


Abb. 4-11: Die zeitliche Änderung der mittleren Tanktemperatur (experimentell und theoretisch) des Systems MB (10.6.82)

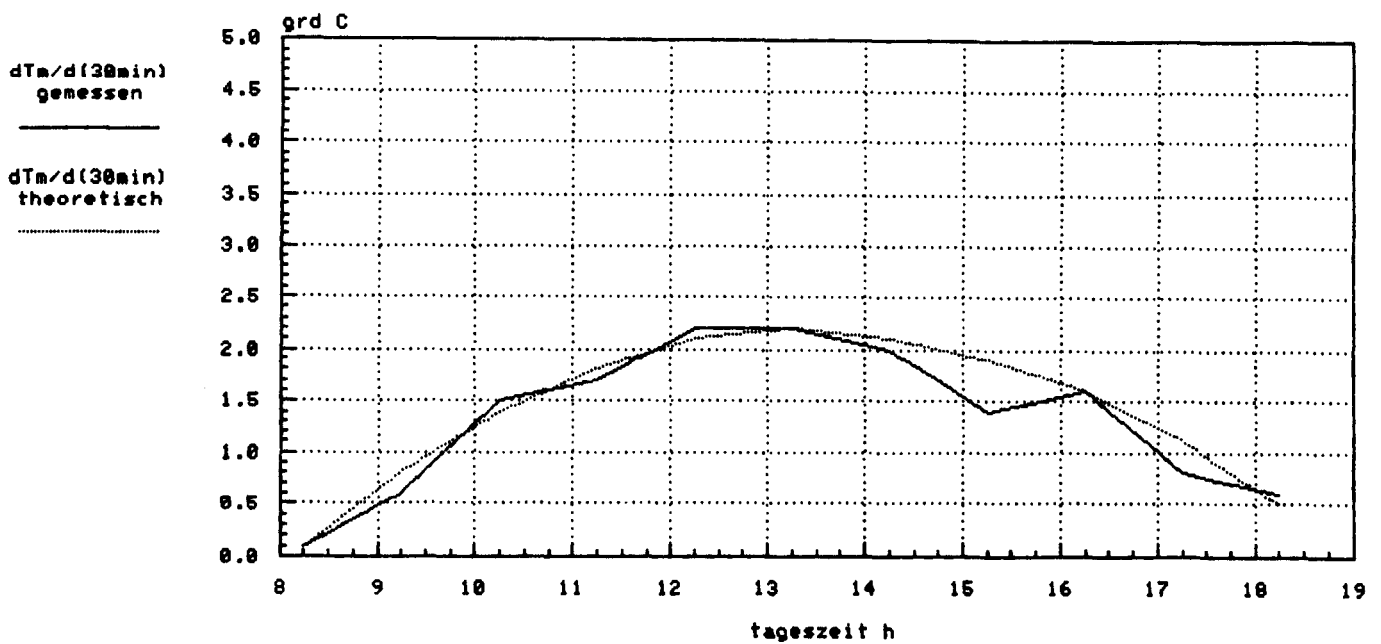


Abb. 4-12: Die zeitliche Änderung der mittleren Tanktemperatur T_m (experimentell und theoretisch) des Systems C (10.6.82)

zufuhr wirken sich auf ΔT_m sehr viel schneller aus als auf T_m (vgl. Kap. 4.4.3).

4.1.6 Der zeitliche Verlauf der mittleren Tanktemperatur T_m während der Nacht

Während der Nacht gilt Gl. (2-24)

$$T_m(t) = T_{mo} e^{-kt} + T_{uo} (1 - e^{-kt}) + \frac{k T_{u1}}{k^2 + \omega_2^2} (k \sin \omega_2 t - \omega_2 \cos \omega_2 t) + \frac{k T_{u1} \omega_2}{\omega_2^2 + k^2} e^{-kt}$$

mit $k = \frac{U_T A_T}{M c_p}$

Voraussetzung für diese Gleichung ist, daß während der Nacht kein thermosiphonischer Rückfluß auftritt. Dies ist für beide Systeme gewährleistet. Beim System MB wurde das Magnetventil jeweils automatisch 18.30 Uhr geschlossen und 8.30 Uhr geöffnet, so daß während der Nacht kein Fluß möglich war. Beim System C kann auf Grund der Konstruktion kein umgekehrter Fluß eintreten (vgl. Kap. 3.1.2). Damit gilt Gl. (2-24). In Tab. 4.1.6 sind alle für die Berechnung benötigten Werte zusammengestellt.

Parameter	Einheit	System MB	System C
T_{mo}	°C	51	43,9
U_T	W/m²K	1	1,9
A_T	m²	1,27	1,94
M	kg	110	200
c_p	Wh/kgK	1,16	1,16
T_{uo}	°C	22,3	22,3
T_{ul}	°C	-5,8	-5,8
ω_2	1/h	0,16	0,16
k	1/h	0,01	0,016

Tab. 4.1.6: Werte zur Berechnung von T_m während der Nacht

T_{mo} entspricht der Temperatur zur Zeit $t = 0$, also 19 Uhr für den nächtlichen Verlauf. In Tab. 4.1.6 wurden die um 19 Uhr gemessenen Temperaturen eingesetzt.

Die mit den Werten aus Tab. 4.1.6 berechneten Kurven zeigen die Abb. 4-13 und 4-14. Auch hier zeigt sich eine sehr gute Übereinstimmung zwischen Theorie und Experiment.

In Abb. 4-15 sind die Ergebnisse dieses Kapitels zusammengefaßt. Sie zeigt die theoretischen und gemessenen Verläufe der mittleren Tanktemperatur T_m für beide Systeme über 24 Stunden (10. - 11.06.82) sowie den Verlauf der Solarstrahlung S . Man sieht, daß das Maximum von T_m (19 Uhr) etwa 5 Stunden später erreicht wird als das Maximum von S (14 Uhr) (vgl. Kap. 4.4.3). Daher macht sich der Strahlungseinbruch zwischen 14 und 15 Uhr auch erst ca. 5 Stunden später bemerkbar, so daß man gegen 19 Uhr die größte Abweichung der theoretischen von der gemessenen Kurve erhält, denn der Strahlungseinbruch ist in der theoretischen Kurve nicht berücksichtigt. Dieser Fehler pflanzt sich während der Nacht weiter fort. Daß die Kurven während der Nacht parallel verlaufen, zeigt aber, daß die Nachtverluste richtig eingeschätzt wurden. In den Abb. 4-13 und 4-14 hat man diese Abweichung nicht, weil die Anfangstemperatur T_{mo} für den Nachtverlauf um 19 Uhr der tatsächlichen, gemessenen Temperatur angepaßt wurde.

Abb. 4-15 ist eine Bestätigung der theoretischen Aussagen von Kap. 2 und der Bestimmungen von Kap. 4.1.1 bis 4.1.4, insbesondere der Anwendung des HWB-Modells auf Thermosiphonanlagen.

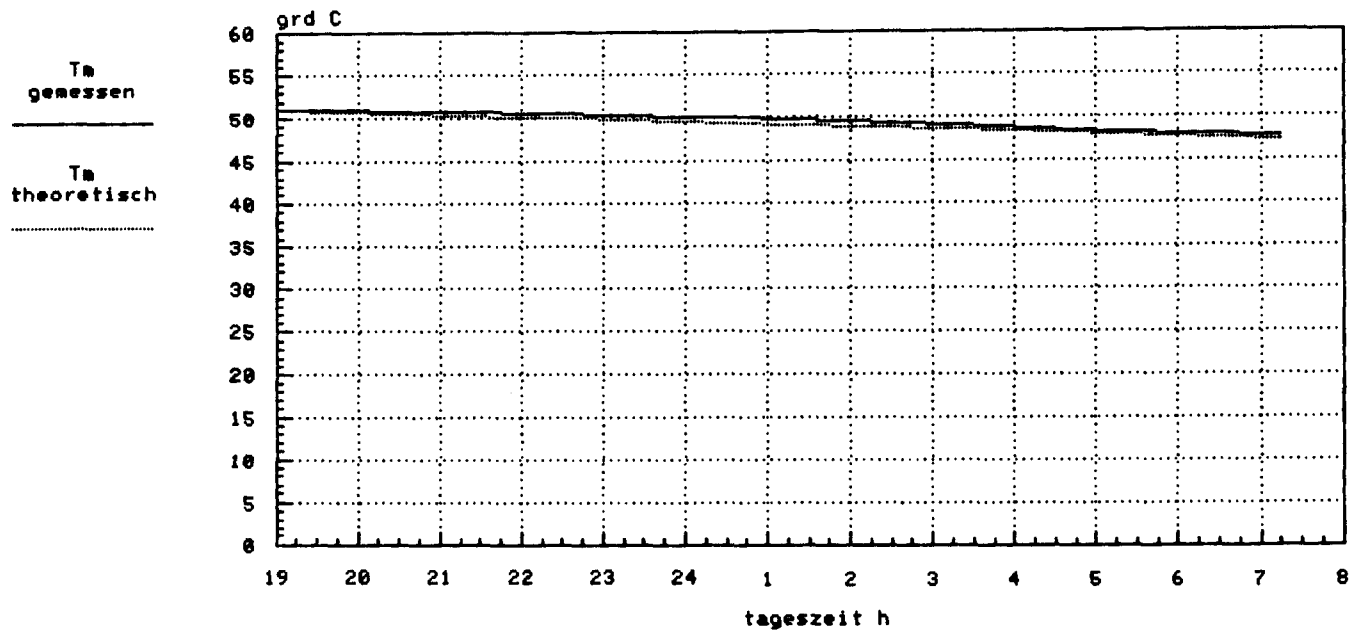


Abb. 4-13: Die mittlere Tanktemperatur T_m (experimentell und theoretisch) während der Nacht für System MB (10.-11.6.82)

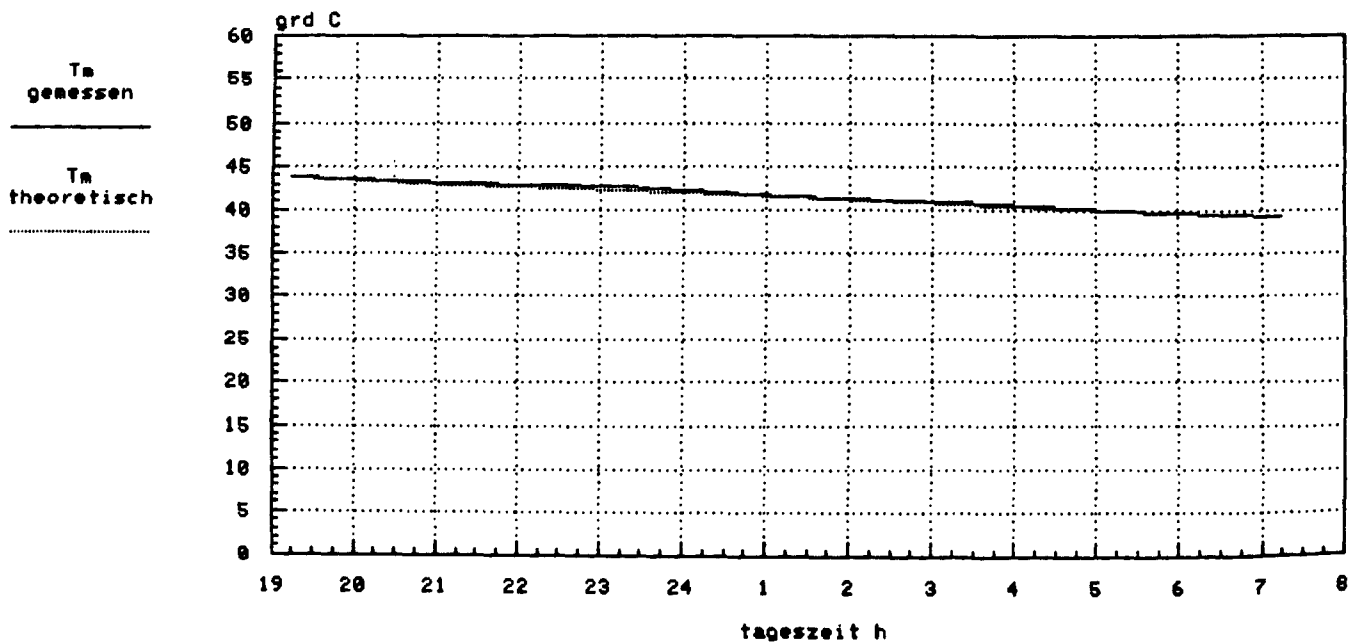


Abb. 4-14: Die mittlere Tanktemperatur T_m (experimentell und theoretisch) während der Nacht für System C (10.-11.6.82)

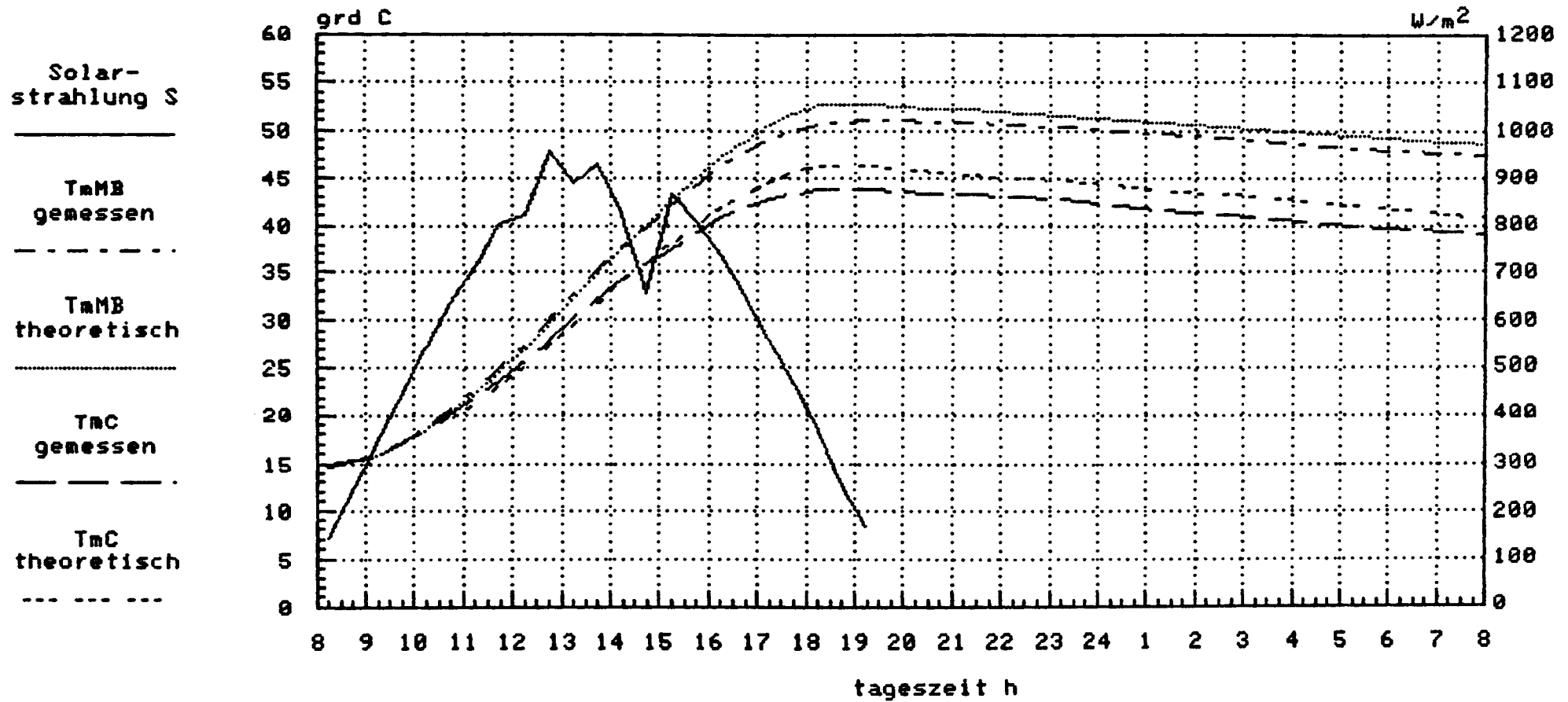


Abb.4-15: Die mittlere Tanktemperatur T_m (experimentell und theoretisch) und die Solarstrahlung S (10. - 11.6.82)

4.2 Bestimmung des thermosiphonischen Flusses

Der thermosiphonische Fluß \dot{m} konnte wegen der schon in Kap. 3.2 angesprochenen Gründe nicht gemessen werden. Trotzdem kann man ihn auf einfache Weise aus den Meßwerten bestimmen (4.2.1). Dem wird in Kap. 4.2.2 die theoretische Bestimmung des Massenstroms nach Gl. (2-30) gegenübergestellt.

4.2.1 Bestimmung des thermosiphonischen Flusses \dot{m} aus den Meßwerten

Wie schon für die Berechnung des Kollektorwirkungsgrades (Kap. 4.1.4.2) geht man auch bei der Berechnung des thermosiphonischen Flusses \dot{m} aus den Meßwerten, von der Energiebilanz des Systems aus /12/.

Sie lautet nach Gl. (2-5):

$$\dot{m} c_p \Delta T_c = M c_p \frac{\Delta T_m}{\Delta t} + \dot{Q}_{vT} \quad (4-12)$$

In den Abb. 4-16 und 4-17 wurde ΔT_m gegen ΔT_c aufgetragen, wobei Δt eine Stunde betrug, d.h. ΔT_c und ΔT_m wurden jeweils über eine Stunde gemittelt (2 Meßwerte). Es ergeben sich dabei Geraden mit relativ guten Korrelationen von 97 % (System MB) und 91 % (System C). Das zeigt, daß der Massenstrom während des ganzen Tages relativ konstant und die Tankverluste \dot{Q}_{vT} relativ klein sind. Wenn man die Tankverluste ganz vernachlässigt ($\dot{Q}_{vT} = 0$), dann kann man aus der Steigung B der Geraden einen mittleren Massenstrom \bar{m} mit Hilfe von Gl. 4-12 bestimmen.

$$\Delta T_m = \frac{\bar{m} \Delta t}{M} \Delta T_c = B \Delta T_c \quad (4-13)$$

mit B = Steigung der Geraden

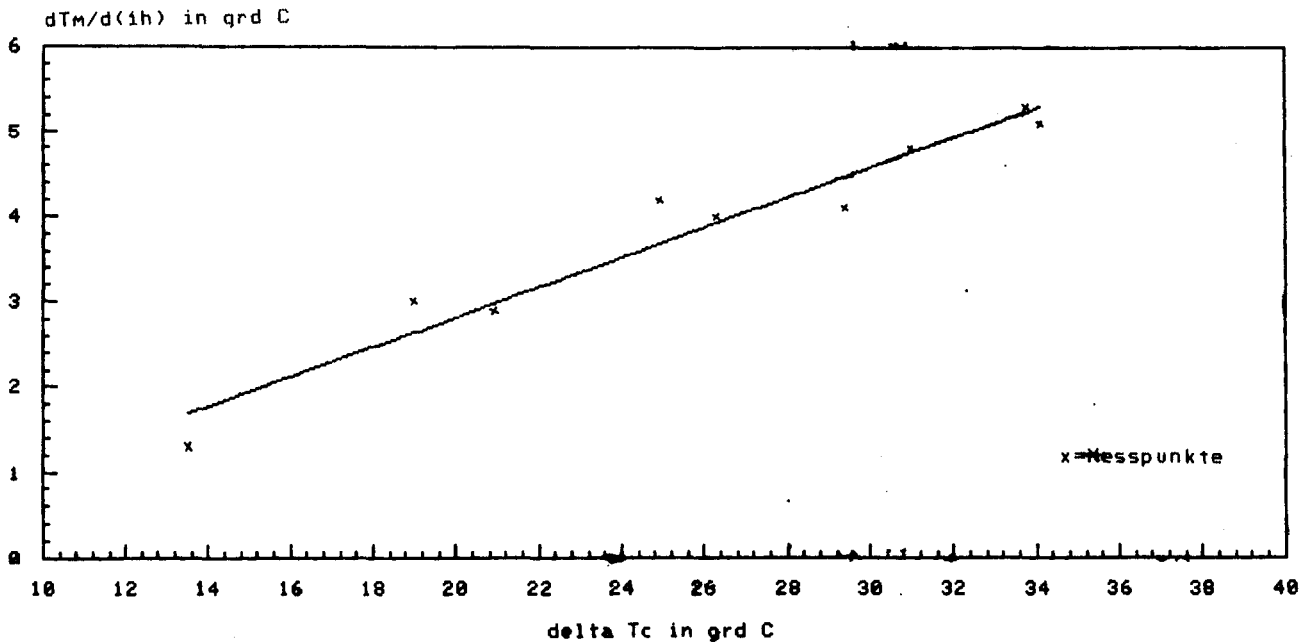


Abb. 4-16: Die Änderung der mittleren Tanktemperatur ΔT_m pro Stunde als Funktion der Temperaturdifferenz im Kollektor ΔT_c für System MB (10.6.82 10-18 Uhr)

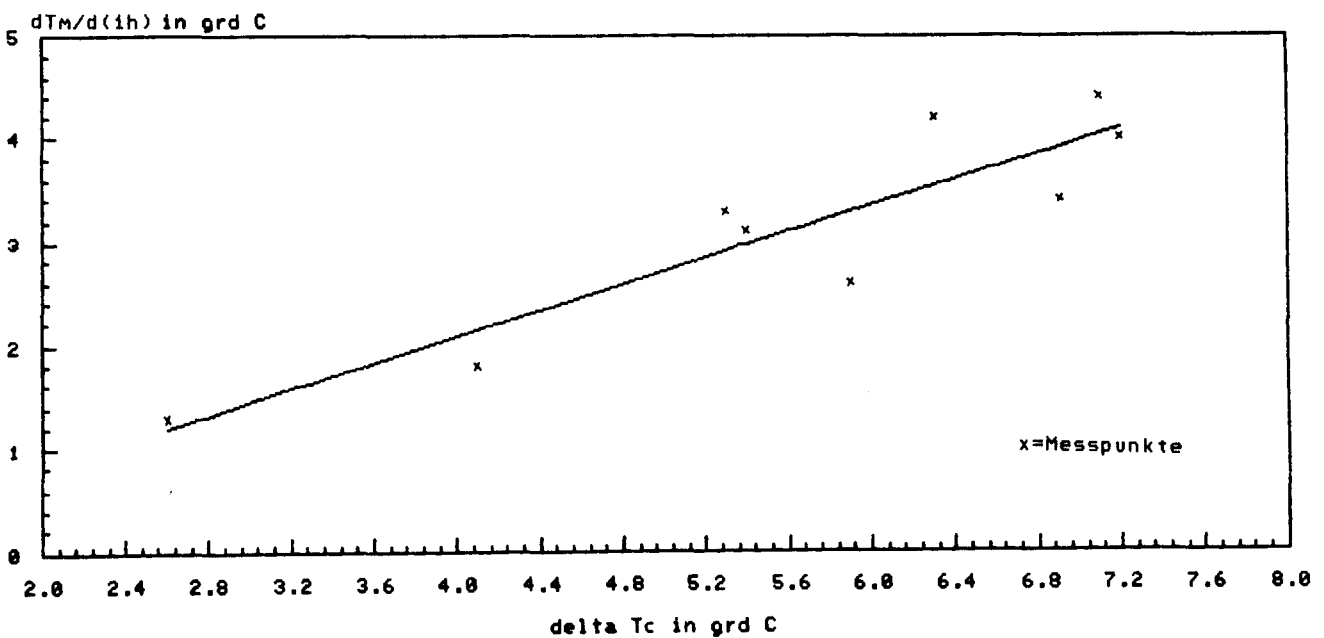


Abb. 4-17: Die Änderung der mittleren Tanktemperatur ΔT_m pro Stunde als Funktion der Temperaturdifferenz im Kollektor ΔT_c für System C (10.6.82 10-18 Uhr)

Parameter	Einheit	System MB	Systeme C
B		0,175	0,633
t	s	3600	3600
M	g	$110 \cdot 10^3$	$200 \cdot 10^3$

Tab. 4.2.1: Die zur Berechnung von \bar{m} benötigten Werte

Aus den Werten von Tab. 4.2.1 ergeben sich die mittleren Massenströme zu

$$\begin{aligned}\bar{m}_{MB} &= 5,3 \text{ g/s} && \text{für das System MB} \\ \bar{m}_C &= 35,2 \text{ g/s} && \text{für das System C} \\ &&& (\text{beide Kollektoren})\end{aligned}\quad (4-14)$$

Man kann Gl. (4-12) auch nach \dot{m} umstellen:

$$\dot{m} = \frac{\frac{M c_p \Delta T_m}{\Delta t} + U_T A_T (T_m - T_u)}{c_p \Delta T_c} \quad (4-15)$$

Setzt man für ΔT_m , T_m , T_u und ΔT_c die Meßwerte von verschiedenen Tageszeiten ein, so erhält man den zeitlichen Verlauf von \dot{m} über den Tag. Dieser Verlauf ist in den Abb. 4-18 und 4-19 für den 10.06.82 zusammen mit den theoretischen Kurven (Kap. 4.2.2) aufgetragen.

4.2.2 Die Bestimmung des thermosiphonischen Flusses nach Gl. (2-30)

Gl. (2-30) lautet (S. 13):

$$\dot{m}(t) = \sqrt{\frac{g \beta \pi g^2 d^4}{128 \eta l} \frac{\eta_c A_c S}{c_p} H}$$

Alle benötigten Werte sind in Tab. 4.2.2 zusammengestellt. Für den Volumenausdehnungskoeffizienten β , die Dichte ρ , die dynamische Viskosität η und die spezifische Wärmekapazität c_p wurden Mittelwerte für den auftretenden Temperaturbereich von 15 bis 60 °C eingesetzt [31]. Für den Kollektorwirkungsgrad

wurden die Mittelwerte $\bar{\eta}_c$ aus Tab. 4.1.4 eingesetzt.

Dies wurde aus praktischen Erwägungen heraus gemacht. Möchte man den Massenstrom für ein beliebiges Thermosiphonsystem bestimmen, dann ist η_c nicht unbedingt bekannt. Man kann dann ein mittleres $\bar{\eta}_c$ von z.B. 0,6 annehmen ohne einen großen Fehler zu machen, da \dot{m} proportional $\sqrt{\eta_c}$ ist.

Für die Solarstrahlung S wurden die Meßwerte gemittelt über jeweils eine Stunde eingesetzt, damit der Strahlungseinbruch während der Mittagszeit vom 10.06.82 (vgl. Kap. 4.1.1) nicht vernachlässigt wird.

Die Höhe von Kollektormitte bis Tankmitte H , der Durchmesser der Rohre d und die gesamte Länge der Rohrleitung l sind Größen, die von der Konstruktion des Thermosiphonsystems abhängig sind. Dabei macht die Bestimmung der Rohrlänge l besonders beim System C Schwierigkeiten. Man kann nämlich nicht einfach die geometrische Länge einsetzen, weil durch Rohrbiegungen und Knie sowie durch die Verwendung eines anderen Durchmessers zusätzliche Strömungswiderstände auftreten, die in zusätzliche Längen umgerechnet werden müssen. Diese können sehr beträchtlich sein, wie man sehen wird, und daher nicht vernachlässigt werden.

a) Bestimmung der Rohrlänge l für das System MB

Beim System MB haben alle Rohre den gleichen Innendurchmesser von

$$d = 15 \text{ mm} = 15 \cdot 10^{-3} \text{ m.}$$

Die geometrische Länge der gesamten Rohrleitung setzt sich zusammen aus 1 m für den Vorlauf (vom Kollektor zum Tank), 2.70 m für den Rücklauf (vom Tank zum Kollektor) und 9.65 m für die Rohrschlange im Kollektor (vgl. Tab. 3.1), also

$$l_g = 1 \text{ m} + 2.70 \text{ m} + 9.65 = 13.35 \text{ m}$$

Zu dieser geometrischen Rohrlänge müssen zur Berücksichtigung der Bögen zusätzliche Längen l_z addiert werden, für die gilt /32/

$$l_z = \xi_u \frac{d}{\lambda} \quad (4-16)$$

mit ξ_u = Widerstandsbeiwert

$\lambda = \frac{64}{Re}$ = Rohrreibungszahl

Re = Reynoldszahl

Der Widerstandsbeiwert oder Umlenkbeiwert ξ_u hängt ab von der Form des Rohres und kann Tabellen entnommen werden /32/. Beim System MB hat man sieben 90°-Bögen außerhalb des Kollektors und neun 90°-Bögen innerhalb des Kollektors. Nach Tabelle ergibt sich

für 90°-Bogen mit $r/d = 3$ (außerhalb Kollektor): 0,15

für 90°-Bogen mit $r/d = 2$ (im Kollektor) : 0,2

Hierbei ist r/d das Verhältnis des Krümmungsradius zum Rohrdurchmesser, welches am System abgemessen wurde. Es ergibt sich somit ein Gesamtumlenkungsbeiwert ξ_{uges} für alle Bögen:

$$\xi_{uges} = 7 \cdot 0,15 + 9 \cdot 0,2 = 2,85 \quad (4-17)$$

Schwierigkeiten bereitet die Bestimmung der Rohrreibungszahl bzw. der Reynoldszahl. Für eine Abschätzung könnte es reichen davon auszugehen, daß die Strömung sicher im laminaren Bereich liegt ($Re \ll 2300$), und eine Reynoldszahl von $Re = 1000$ und damit eine Rohrreibungszahl von $\lambda = 0,064$ einzusetzen. Dies dürfte für praktische Belange mit hinreichender Genauigkeit zutreffen.

Im vorliegenden Fall kann man jedoch die Reynoldszahl etwas genauer untersuchen, da man aus Kap. 4.2.1 in etwa den Massenstrom kennt. Es gilt

$$v = \frac{\dot{m}}{A \cdot \varrho} \quad (4-18)$$

mit v = Strömungsgeschwindigkeit (m/s)
 $A = \pi d^2/4$ = Querschnittsfläche
des Rohres (m²)

Mit dem mittleren $\bar{m} = 0,005$ kg/s nach Gl. (4-14), einem Rohrdurchmesser von $d = 15$ mm und einer Dichte von $\varrho = 993$ kg/m³ ergibt sich

$$v = 0,003 \text{ m/s} = 3 \text{ cm/s}$$

Mit dieser Strömungsgeschwindigkeit v , dem Durchmesser d , der Dichte ϱ und der dynamischen Viskosität von $\eta = 0,79 \cdot 10^{-3}$ kg/ms folgt nach der Beziehung

$$Re = \frac{v d \varrho}{\eta} \quad (4-19)$$

eine Reynoldszahl von

$$Re = 600$$

und damit eine Rohrreibungszahl von

$$\lambda = 0,11$$

Nun kann man mit diesem λ , dem Durchmesser d und dem Gesamtumlenkungsbeiwert ξ_{uges} die zusätzliche Rohrlänge nach Gl. (4-16) berechnen:

$$l_z = 0,35 \text{ m.}$$

Damit gilt für die gesamte in Gl. (2-30) einzusetzende Rohrlänge l für das System MB:

$$l = l_g + l_z = 13,7 \text{ m}$$

Die zusätzliche Länge beträgt nur 2,5 % der Gesamtlänge, könnte bei diesem System also vernachlässigt werden.

b) Bestimmung der Rohrlänge l für das System C

Beim System C wurden 2 Durchmesser verwendet:

$d_1 = 15 \text{ mm} = 15 \cdot 10^{-3} \text{ mm}$ für die Parallelrohre im Kollektor
und

$d = 25 \text{ mm} = 25 \cdot 10^{-3} \text{ mm}$ für alle anderen Rohre.

Daher muß zunächst die Rohrlänge l_1 mit dem Durchmesser d_1 auf eine entsprechende Rohrlänge l_e mit dem Durchmesser d umgerechnet werden, wobei die Strömungsverhältnisse die gleichen bleiben müssen (Abb. 4-20).

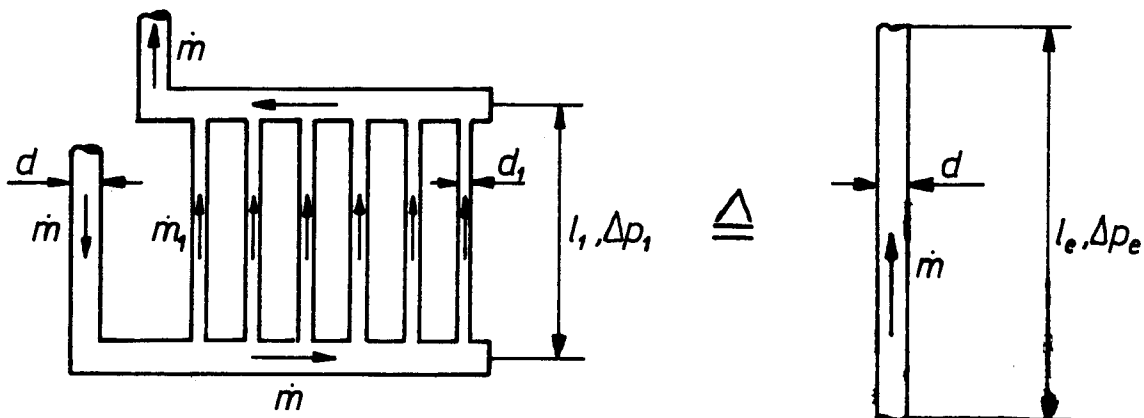


Abb. 4-20: Die Strömungsverhältnisse im Parallelrohrkolektor mit 6 Rohren und einem entsprechenden Rohr

Nach Abb. 4-20 gelten folgende Beziehungen:

$$\begin{aligned} 6 \dot{m}_1 &= \dot{m} && \text{für den Massenstrom} \\ \text{und } \Delta p_1 &= \Delta p_e && \text{für den Druckabfall} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Mit } \dot{m} &= A v g \\ \text{und } \Delta p &= \frac{32 \eta l}{d^2} v && (\text{Hagen-Poiseuille}) \end{aligned}$$

$$\text{folgt: } 6 A_1 v_1 g = A v g \quad (\text{Kontinuitätsgleichung})$$

$$\frac{32 \eta l_1}{d_1^2} v_1 = \frac{32 \eta l_e}{d^2} v$$

oder:

$$l_e = l_1 \frac{d^4}{6d_1^4} \quad (4-20)$$

Mit $l_1 = 1,18 \text{ m}$
 $d = 25 \text{ mm}$
 $d_1 = 15 \text{ mm}$

gilt somit für die entsprechende Länge

$$l_e = 2,69 \text{ m.}$$

Nun müssen noch die Zusatzlängen für Umlenkungen im Rohrsystem berechnet werden (vgl. a)). Nach den entsprechenden Berechnungen ergibt sich:

für die Strömungsgeschwindigkeit:	$v = 3,6 \text{ cm/s}$ ($v_1 = 2,2 \text{ cm/s}$ in den Parallelrohren)
für die Reynoldszahl:	$Re = 1130$ ($Re_1 = 360$ in den Parallelrohren)
für die Rohrreibungszahl:	$\lambda = 0,057$ ($\lambda_1 = 0,18$ in den Parallelrohren)

Im Rohrleitungssystem für einen Kollektor hat man vier 90°-Knie, zwei 120°-Knie und zwölf Abzweigungen von den Parallelrohren zu den Sammelrohren. Für diese Umlenkungen wurden aus Tabellen folgende Beiwerte entnommen /32/:

für 4 x 90°-Knie	4 x 1,3
für 2 x 120°-Knie	2 x 0,8
für 12 x Abzweigung	12 x 3,8 ($v_1/v = 0,62$)

Hierbei kann man die ξ_u -Werte nicht einfach addieren, weil die bei einer Abzweigung zusammentreffenden Rohre verschiedene Durchmesser haben. Die gleichwertige Länge für die Abzweigungen l_{gl} wird berechnet nach

$$l_{gl} = \xi_u \frac{d_1}{\lambda_1} = 12 \cdot 3,8 \frac{15 \cdot 10^{-3} \text{ m}}{0,18} = 3,8 \text{ m}$$

(mit einem Durchmesser
von 15 mm)

Für die entsprechende Länge eines Rohres mit dem Durchmesser $d = 25 \text{ mm}$ kann man wieder Gl. (4-20) benutzen und erhält

$$l_{zA} = 7,66 \text{ m (mit einem Durchmesser von 25 mm)}$$

Für die zusätzliche Länge der Rohrknien bekommt man nach Gl. (4-16)

$$l_{zK} = (4 \cdot 1,3 + 2 \cdot 0,8) \frac{25 \cdot 10^{-3} \text{ m}}{0,057} = 3 \text{ m}$$

Nachdem man nun sämtliche Zusatzlängen bestimmt hat, braucht man diese nur noch zu der geometrischen (abgemessenen) Länge zu addieren, welche sich aus 1,09 m für den Vorlauf, 1,72 m für den Rücklauf und 2,6 m für die Sammelrohre zusammensetzt (vgl. Tab. 3.1)

$$l_g = 1,09 \text{ m} + 1,72 \text{ m} + 2,6 \text{ m} = 5,41 \text{ m}$$

Damit gilt für die gesamte in Gl. (2-30) einzusetzende Rohrlänge l für das System C

$$l_C = l_g + l_e + l_{zA} + l_{zK} = 18,7 \text{ m}$$

Die zusätzliche Länge beträgt bei diesem System ca. 70 % der Gesamtlänge, kann also keinesfalls vernachlässigt werden.

Was die Rohrlänge l betrifft, so kann man zusammenfassend sagen: Für Systeme, wo verschiedene Rohrdurchmesser verwendet werden und/oder sehr viele Rohrknien und Abzweigungen vorhanden sind, muß man eine diesen Rohrverhältnissen entsprechende zusätzliche Länge berechnen (System C), während man für Systeme mit "glatter" Rohrführung (z.B. keine Knien, sondern Bögen) diese zusätzliche Länge vernachlässigen kann (System MB). Für die Berechnung kann man eine Reynoldszahl von $Re = 1000$ annehmen, ohne einen zu großen Fehler zu machen, was auch zur Dimensionierung solcher Anlagen benutzt wird /33/.

Parameter	Einheit	System MB	System C
g	m/s^2	9,81	9,81
β	K^{-1}	$3,3 \cdot 10^{-4}$	$3,3 \cdot 10^{-4}$
π		3,14	3,14
ρ	kg/m^3	993	993
d	m	$25 \cdot 10^{-3}$	$15 \cdot 10^{-3}$
η	kg/ms	$0,79 \cdot 10^{-3}$	$0,79 \cdot 10^{-3}$
l	m	13,7	18,7
$\bar{\eta}_c$		0,48	0,61
A_c	m^2	1,5	1,75
c_p	Wh/kgK	1,16	1,16
H	m	0,56	0,885

Tab. 4.2.2: Die zur Berechnung von \dot{m} benötigten Werte

Mit den Werten aus Tab. 4.2.2 kann man nun den Massenstrom \dot{m} nach Gl. (2-30) bestimmen. Die Berechnung für das System C gilt pro Kollektor, d.h. man muß den mit Tab. 4.2.2 und Gl. (2-30) berechneten Wert mit dem Faktor 2 multiplizieren, um den gesamten Fluß \dot{m} zu erhalten. Die zeitlichen Verläufe vom 10.6.82 sind zusammen mit denen in Kap. 4.2.1 bestimmten in den Abb. 4-18 und 4-19 aufgezeichnet. Man sieht, daß für das System MB eine gute Übereinstimmung vorhanden ist. Beim System C dagegen kommt es doch zu erheblichen Abweichungen. Der Grund dafür ist, daß in Gl. (4-15) ein etwas zu hoher Wert für ΔT_c eingesetzt wird, weil das gemessene ΔT_c nicht die eigentlich am Kollektor anliegende Temperaturdifferenz ist. Denn der Rücklauf ist beim System C durch den Kollektor nach unten geführt (vgl. Kap. 3.1.3), d.h. das Wasser wird schon im Rücklauf erwärmt und da-

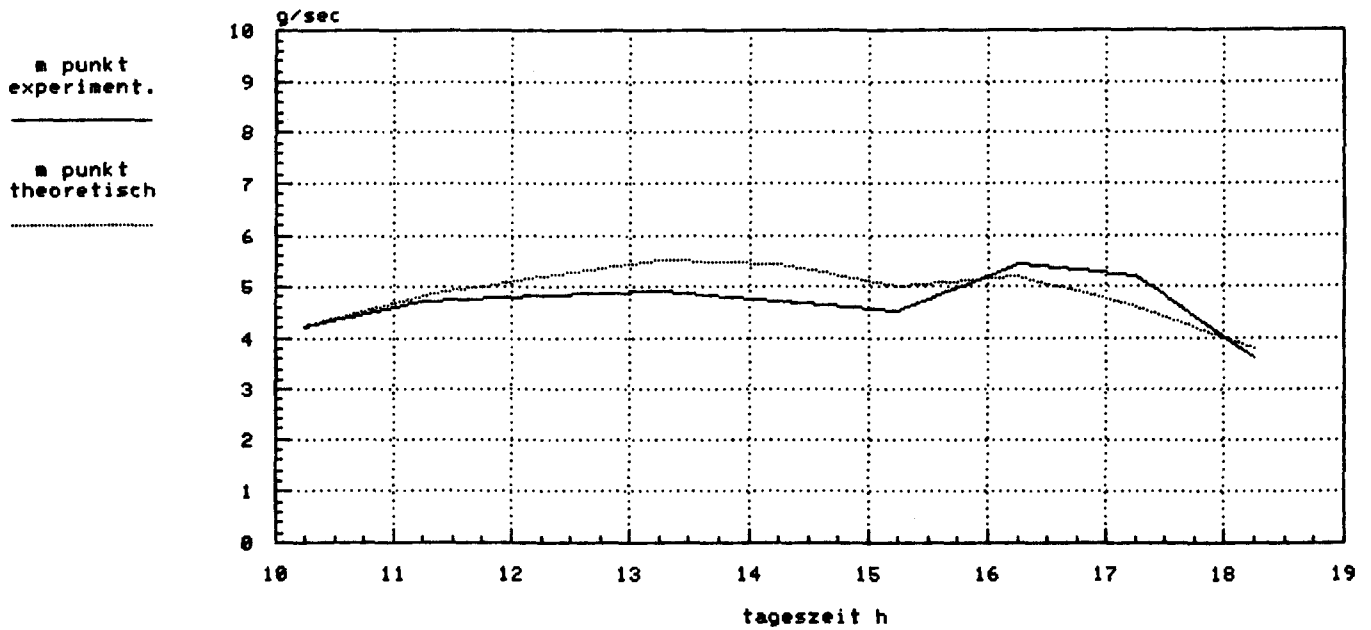


Abb. 4-18: Der thermosiphonische Fluß \dot{m} (experimentell und theoretisch) für System MB (10.6.82)

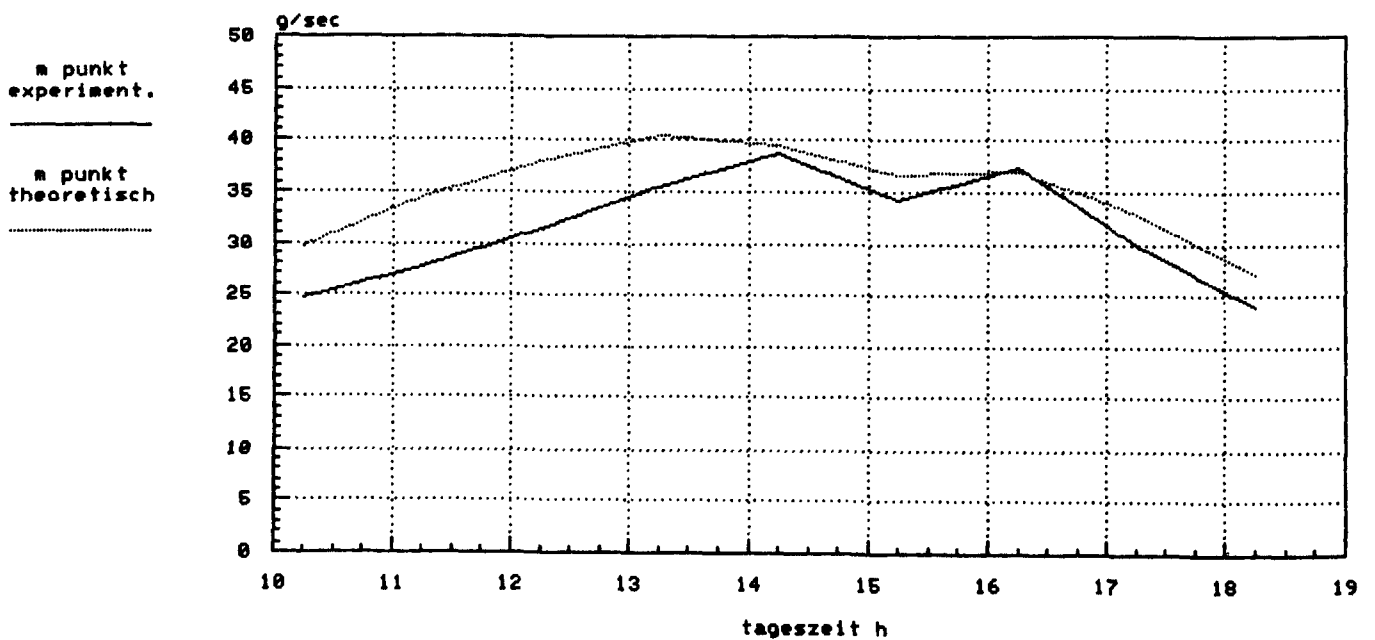


Abb. 4-19: Der thermosiphonische Fluß \dot{m} (experimentell und theoretisch) für System C (10.6.82)

mit T_i größer, wodurch das reale ΔT_c kleiner und der Massenstrom nach Gl. (4-15) größer wird. Dieser Unterschied im ΔT_c fällt beim HWB-Kollektormodell, wo ja auch T_i implizit eingeht, kaum ins Gewicht, weil dort $T_a = (T_o + T_i)/2$ verwendet wurde. Ändert sich nun T_i um 1°C bei einem ΔT_c von 7°C und einem T_o von $33,9^\circ\text{C}$ (10.6.82, 13.15 Uhr), dann ändert sich T_a nur um $1,6\%$, dagegen ΔT_c und damit auch \dot{m} um $14,3\%$. Die Abweichung um 13.15 Uhr beträgt nach Abb. 4-19 $14,8\%$! Die Abb. 4-18 und 4-19 bestätigen also die Vermutungen aus Kap. 3.1. Aufgrund der Konstruktion des MB-Kollektors wurde ein sehr geringer Durchfluß für dieses System vermutet, was durch Abb. 4-18 bestätigt wird.

Es soll nun noch kurz untersucht werden, wieviel Liter Wasser bei einer bestimmten Einstrahlung in einer bestimmten Zeit um wieviel Grad erwärmt werden.

Nach Gl. (2-29) gilt

$$\Delta T_c = \frac{\eta_c A_c S}{\dot{m} c_p}$$

Setzt man in diese Beziehung die Mittelwerte $\bar{\eta}_c$ aus Tab. 4.1.4 und \dot{m} nach Gl. (4-14) und eine Solarstrahlung $S = 800 \text{ W/m}^2$ ein, so erhält man

$$\begin{aligned}\Delta T_{\text{cMB}} &= 26^\circ\text{C} \text{ für System MB} \\ \Delta T_{\text{cC}} &= 5,8^\circ\text{C} \text{ für System C}\end{aligned}$$

Anders ausgedrückt: Bei einer Einstrahlung von 800 W/m^2 werden in einer Stunde in System MB 19 l ($5,3 \text{ g/sec}$) Wasser um 26°C und in System C 127 l ($35,2 \text{ g/sec}$) um $5,8^\circ\text{C}$ erwärmt.

4.2.3 Der umgekehrte thermosiphonische Fluß

In den Abb. 4-21 und 4-22 sind die Temperaturdifferenzen im Kollektor ΔT_c und die Temperaturänderung im Tank $\Delta T_m / \Delta t$ für das System MB für zwei verschiedene Tage aufgetragen. Es wurde ein Tag, an dem das Ventil während der Nacht geschlossen wurde

(10.-11.6.82), einem anderen Tag, an dem das Ventil geöffnet blieb (29.-30.5.82), gegenübergestellt. Man sieht sehr deutlich, daß es bei geöffnetem Ventil zu einem Rückfluß kommt. Es stellt sich ein ΔT_c von 30 °C ein, welches sogar höher als tagsüber ist. Das ΔT_m beträgt im Mittel -0,5 °C pro 30 min.

Da die mittlere Tanktemperatur T_m an beiden Tagen etwa gleich war, kann man sehr gut vergleichen. Bei geschlossenem Ventil ist das ΔT_c während der ganzen Nacht Null, und das ΔT_m beträgt im Mittel etwa -0,2 °C pro 30 min, die reinen Tankverluste \dot{Q}_{VT} . Es zeigt sich also, daß bei geöffnetem Ventil die Auskühlung des Wassers im Tank mehr als doppelt so groß ist wie bei geschlossenem Ventil. Es sollte also beim System MB keinesfalls versäumt werden, das Ventil während der Nacht zu schließen, um damit den umgekehrten thermosiphonischen Effekt zu verhindern.

Für den umgekehrten thermosiphonischen Fluß gilt nach Gl. (2-35) und (2-37)

$$\dot{m}_R = - \frac{\frac{M c_p \Delta T_m}{\Delta t} + U_T A_T (T_m - T_u)}{c_p \Delta T_c} \quad (4-21)$$

\dot{m}_R wurde für verschiedene Zeitpunkte während der Nacht vom 29. - 30.05.82 berechnet:

20 Uhr:	$\dot{m}_R =$	2,4	g/sec
24 Uhr:	$\dot{m}_R =$	0,68	g/sec
4 Uhr:	$\dot{m}_R =$	0,65	g/sec
8 Uhr:	$\dot{m}_R =$	0,45	g/sec

Man sieht an diesen Werten, daß der umgekehrte thermosiphonische Fluß fast während der ganzen Nacht relativ klein ist. Nur gegen 20 Uhr, wo das ΔT_c klein ist, ist \dot{m}_R relativ hoch, was sich auch im ΔT_m bemerkbar macht. Die Tankauskühlung ist zu Beginn der Nacht am größten (bis -0,7 °C pro 30 min).

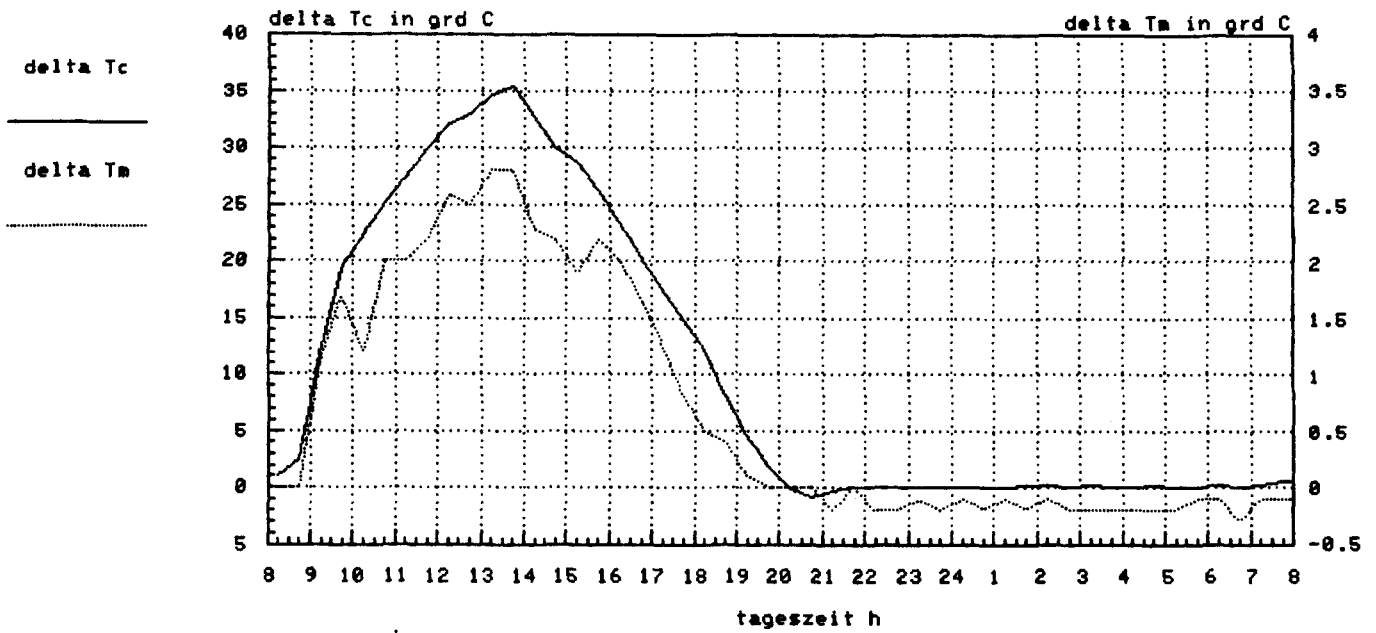


Abb. 4-21: Die Temperaturdifferenz im Kollektor ΔT_c und die Änderung der mittl. Tanktemperatur ΔT_m pro 30 min für System MB bei geschlossenem Ventil (10.-11.6.82)

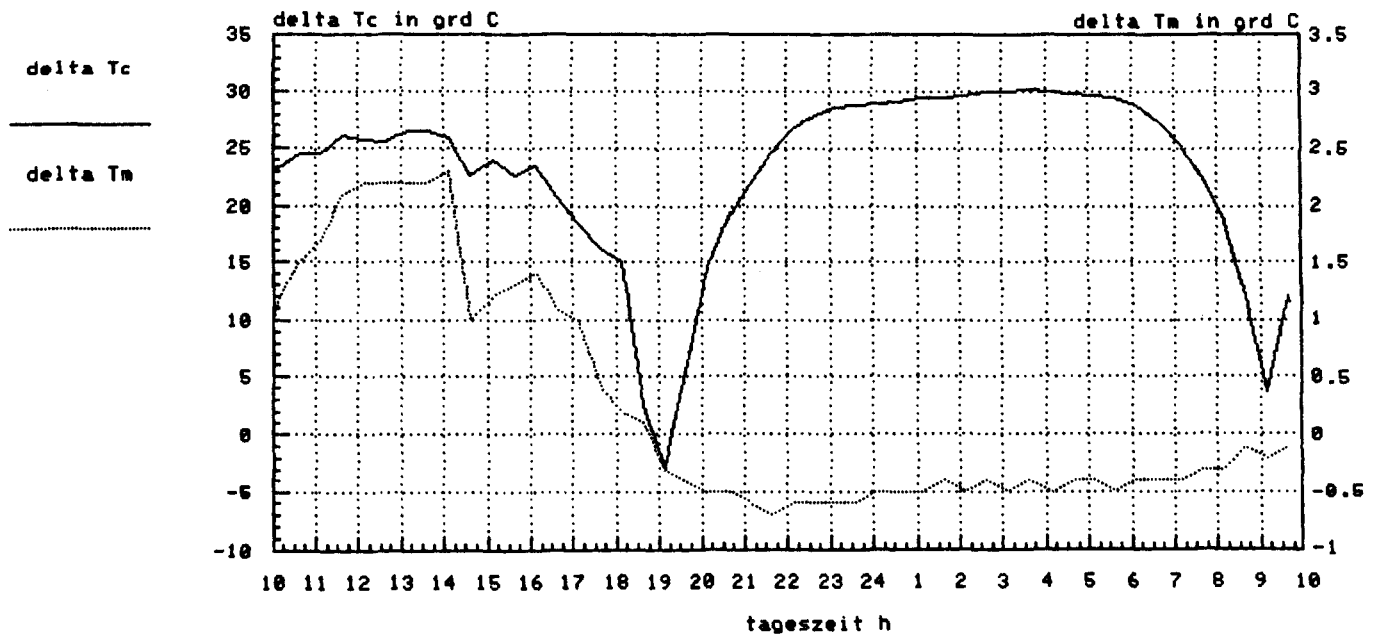


Abb. 4-22: Die Temperaturdifferenz im Kollektor ΔT_c und die Änderung der mittl. Tanktemperatur ΔT_m pro 30 min für System MB bei geöffnetem Ventil (29.-30.5.82)

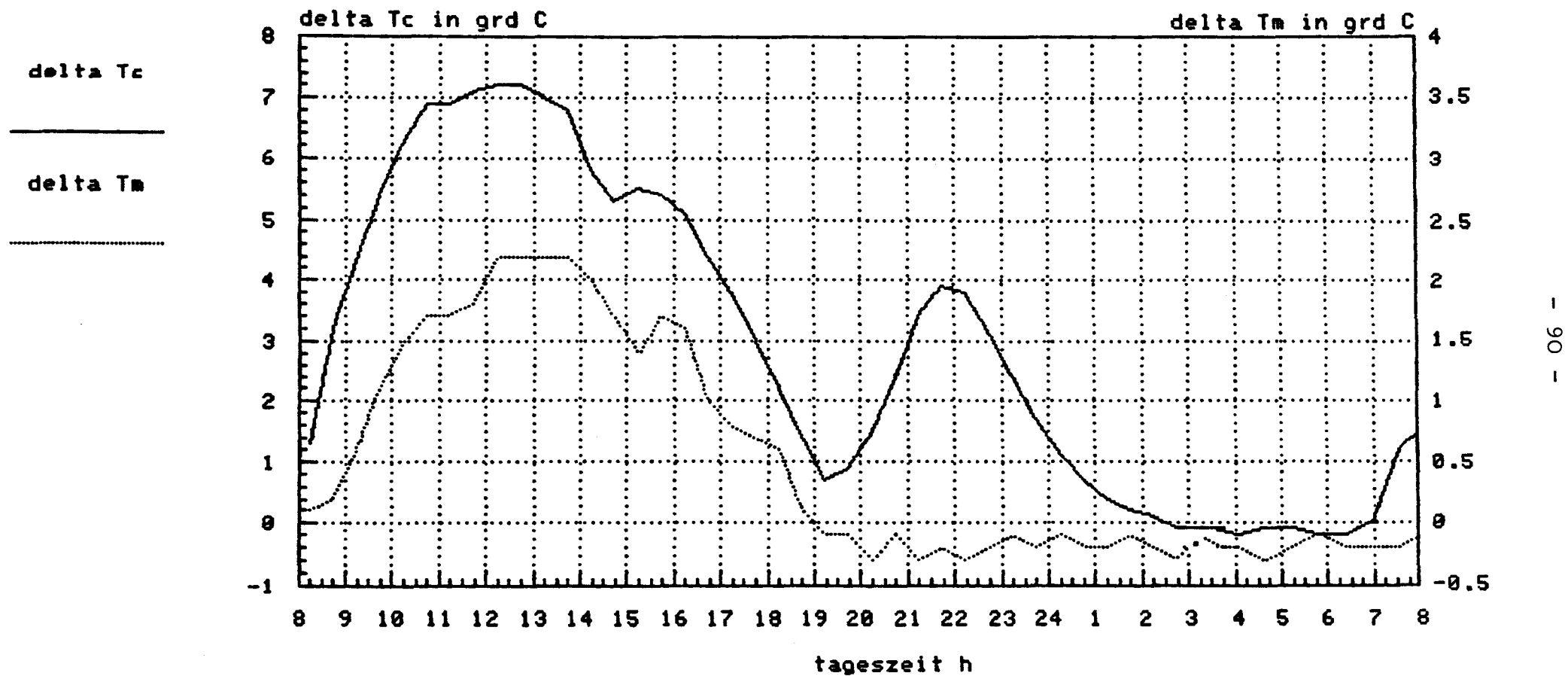


Abb. 4-23: Die Temperaturdifferenz im Kollektor ΔT_c und die Änderung der mittl. Tanktemperatur ΔT_m pro 30 min für System C (10. - 11.6.82)

In der Abb. 4-22 kann man auch sehr gut die beiden Umkehrpunkte für den thermosiphonischen Fluß erkennen. Der umgekehrte Fluß setzt gegen 19 Uhr ein und hört am darauffolgenden Morgen gegen 9 Uhr auf. Diese Zeitpunkte, an denen der Fluß umkehrt, hängen natürlich von vielen Parametern ab, wie z.B. der Solarstrahlung, der Umgebungstemperatur (jahreszeitabhängig) und der mittleren Tanktemperatur. An den Umkehrpunkten sollte beim System MB das Magnetventil schließen bzw. öffnen. Aus verschiedenen Messungen wurde der Zeitpunkt des Schließens auf 18.30 Uhr und der des Öffnens auf 8.30 Uhr festgelegt. Eine optimale Ausnutzung könnte man mit einer jahreszeitabhängigen Regelung erzielen. Für die Zeit, in der die Messungen für die vorliegende Arbeit durchgeführt wurden (Sommer 1982), erwiesen sich jedoch die oben genannten Zeitpunkte als günstig.

Für das System C sind die Temperaturdifferenz im Kollektor ΔT_c und die Temperaturänderung im Tank ΔT_m pro 30 min für den 10. - 11.06.82 in Abb. 4-23 aufgetragen. Man erkennt auch hier einen Umkehrpunkt gegen ca. 19 Uhr und ein darauffolgendes Ansteigen von ΔT_c , was auf einen umgekehrten thermosiphonischen Fluß schließen ließe. Allerdings ist der hier auftretende Effekt ein anderer. Das im Kollektor befindliche Wasser kühlt zu Beginn der Nacht stark ab bis auf Umgebungstemperatur. Daher verringert es sein Volumen und zieht etwas Wasser aus dem Tank nach. Es kommt so zu einem Volumenausgleich, wobei natürlich auch Wasser von oben aus dem Tank in den Kollektor fließt ($\dot{m} = 0,34 \text{ g/s}$ gegen 22 Uhr), aber nicht weiter vom Kollektor unten in den Tank wie beim umgekehrten thermosiphonischen Effekt. Es tritt also kein thermosiphonischer Fluß auf. Der Vorgang ist beendet, wenn der gesamte Wasserinhalt im Kollektor Umgebungstemperatur erreicht hat. Dann ist auch ΔT_c Null - im vorliegenden Beispiel gegen ca. 2 Uhr (vgl. Abb. 4-23).

4.3 Die Temperaturverteilung im Thermosiphon

Nach Kap. 2.5 kann man Temperaturverteilungsdiagramme aufstellen, wenn man die Kollektoreintrittstemperatur T_i und die

Kollektoraustrittstemperatur T_o kennt. Sie werden nach Gl. (2-33) und (2-34) berechnet zu

$$T_i = T_m - \frac{\eta_c A_c S}{2 \dot{m} c_p}$$

und $T_o = 2 T_m - T_i$

Alle für die Berechnung benötigten Werte wurden in den vorangegangenen Kapiteln bestimmt. Für den Kollektorwirkungsgrad wurden Mittelwerte eingesetzt und für den Massenfluß \dot{m} die experimentellen Werte aus Gl. (4-14). Die Ergebnisse wurden in den Abb. 4-24 und 4-25 den gemessenen Temperaturen gegenübergestellt. Für das System C erhält man eine sehr gute Übereinstimmung, während beim System MB doch erhebliche Abweichungen auftreten. Die theoretischen Werte vom Vormittag bis 12 Uhr wurden gar nicht erst ausgedruckt, weil sich für diesen Zeitraum keine vernünftigen Werte ergaben. Der Grund dafür liegt in der Abweichung der mittleren Tanktemperaturen T_m von der mittleren Absorbertemperatur T_a (siehe Abb. 4-6), was besonders am Vormittag ins Gewicht fällt.

Das wiederum ist, wie schon in Kap. 4.1.4.3 erwähnt, auf den äußerst geringen Durchfluß zurückzuführen, denn dadurch dauert es sehr lange, bis sich auch die untersten Schichten im Tank erwärmen, so daß lange Zeit die Kollektoreintrittstemperatur T_i konstant niedrig bleibt. Dies zeigt deutlich Abb. 4-26, in der die Temperaturverteilung im Tank über 24 Stunden aufgetragen wurde. Man sieht, daß die Temperaturschichtung sehr ausgeprägt ist und auch über die Nacht relativ gut erhalten bleibt. Der Vorteil einer guten Tankschichtung ist, daß das Wasser oben im Tank, also dort, wo man es entnimmt, sehr heiß ist. Wenn man allerdings dieses heiße Wasser entnommen hat, kommt relativ kaltes Wasser nach, d.h. die Energie ist dann größtenteils verbraucht.

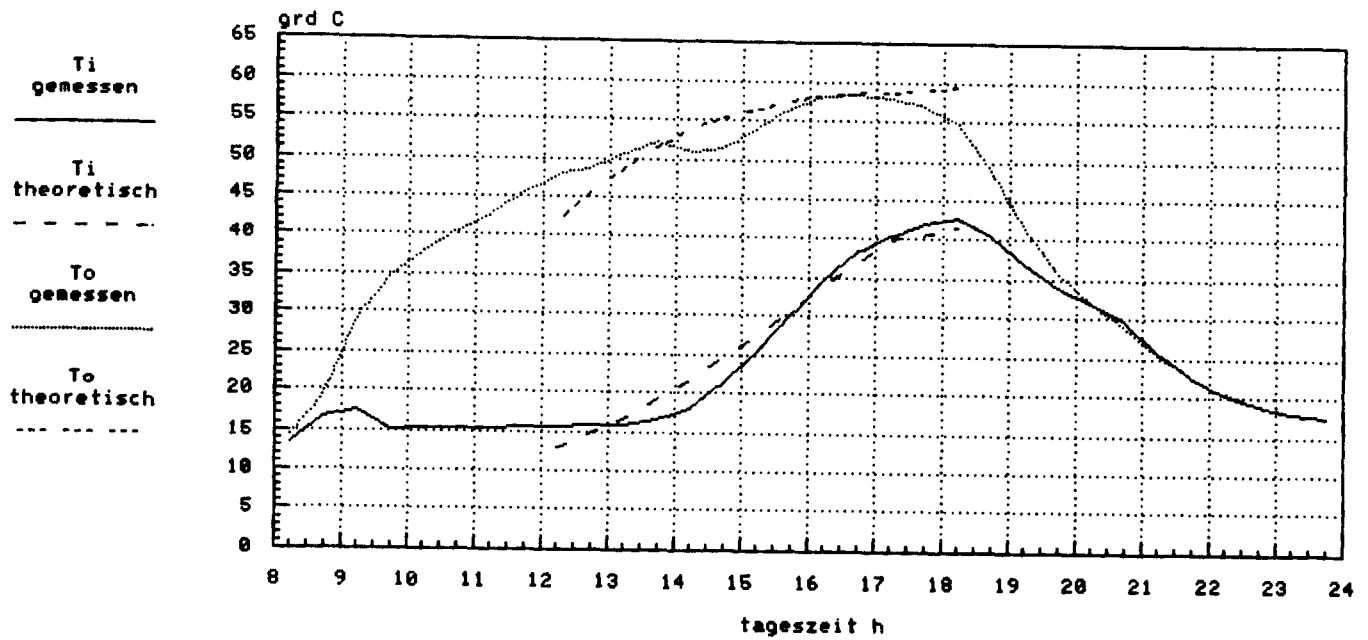


Abb. 4-24: Kollektoreintritts- und -austrittstemperatur T_i und T_o (experimentell und theoretisch) für System MB (10.6.82)

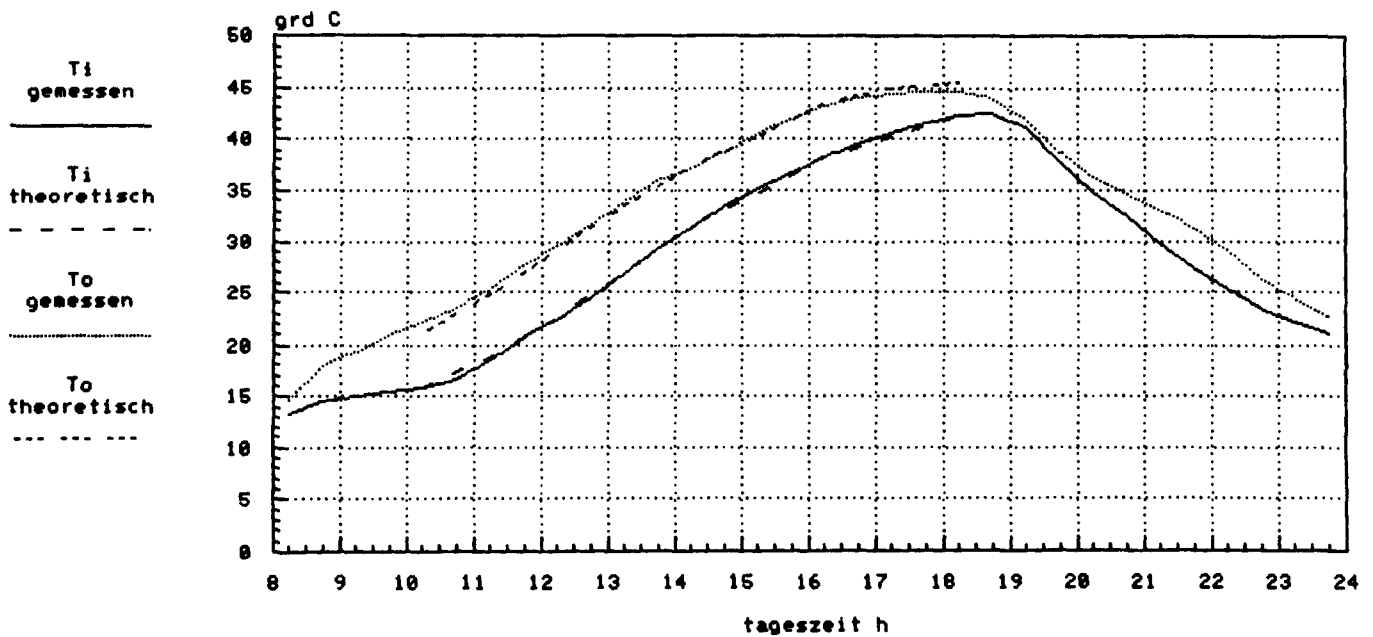


Abb. 4-25: Kollektoreintritts- und -austrittstemperatur T_i und T_o (experimentell und theoretisch) für System C (10.6.82)

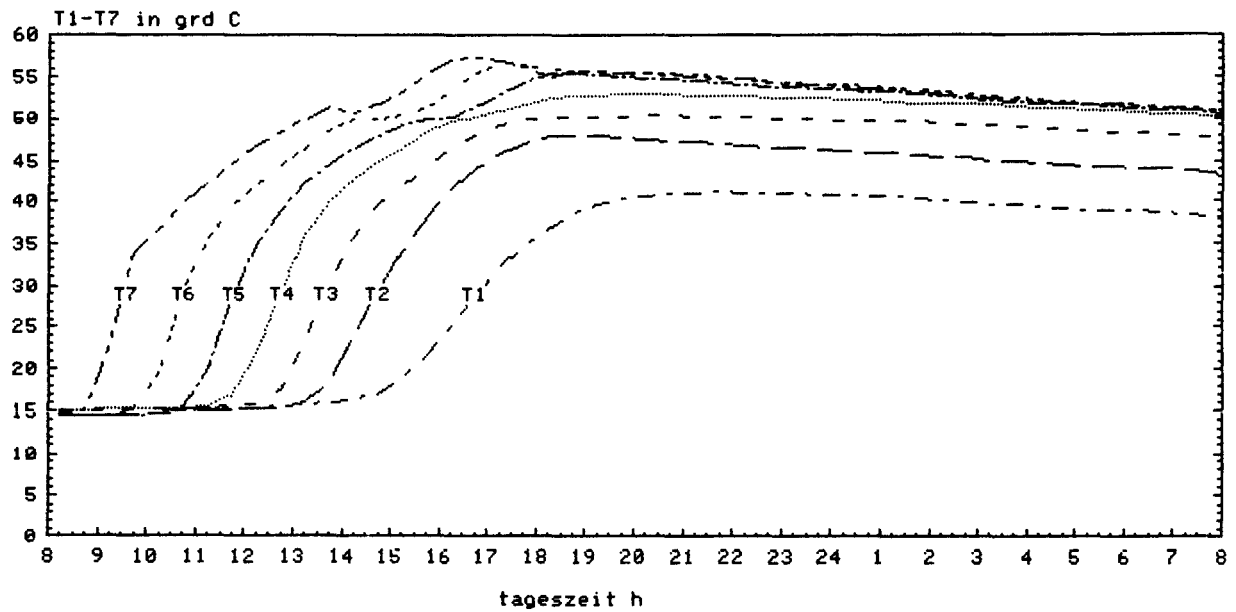


Abb. 4-26: Die Temperaturschichtung im Tank des Systems MB (10.6.82)

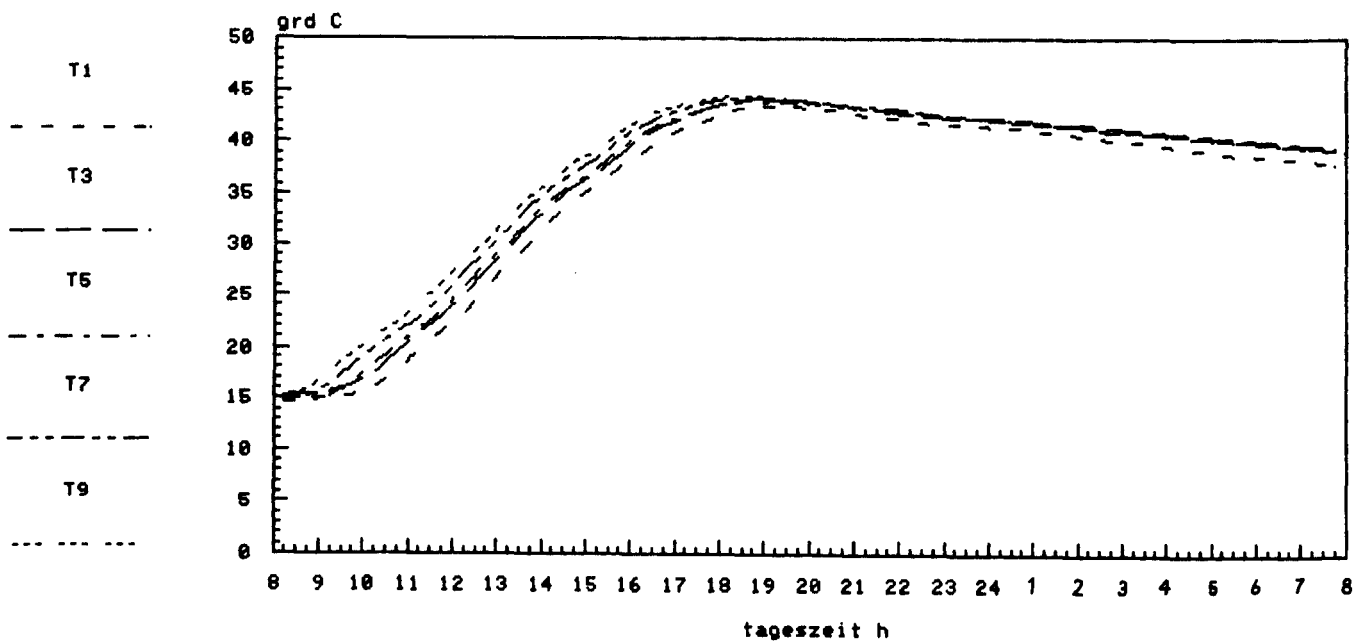


Abb. 4-27: Die Temperaturschichtung im Tank des Systems C (10.6.82)

In Abb. 4-27 ist die Temperaturschichtung im Tank des Systems C dargestellt. Man sieht deutlich den Unterschied zum System MB. Es ist kaum eine Schichtung vorhanden, d.h. der ganze Tank hat annähernd die gleiche Temperatur. Die aufgenommene Energie ist also auf die gesamte Wassermasse im Tank verteilt und befindet sich nicht, wie beim System MB, in den oberen Tankzonen. Das liegt zum einen in dem relativ hohen Durchfluß und zum anderen in der Konstruktion des Vorlaufs innerhalb des Speichers nach oben (vgl. Kap. 3) begründet. Beides führt zu Verwirbelungen und damit zu einer schlechten Temperaturschichtung im Tank. Der Nachteil dabei ist, daß man nicht so heißes Wasser erhält.

Hat man nun T_i und T_o bestimmt, kann man das Temperaturverteilungsdiagramm erstellen. In den Abb. 4-28 und 4-29 ist es für 2 verschiedene Tageszeiten (13.15 und 16.15 Uhr) vom 10.06.82 aufgezeichnet. Es ergibt sich eine sehr gute Linearität für System C. Allerdings verschiebt sich das Trapez etwas, was auf Rohrverluste zurückzuführen ist (gestrichelte Linie in Abb. 4-29).

Für System MB ist die Linearität der Temperaturschichtung im Tank nicht so ausgeprägt. Vor allem am Nachmittag 16.15 Uhr (Abb. 4-28) ergibt sich eine Abweichung, denn die unterste Tanktemperatur T_1 ist niedriger als die Kollektoreintrittstemperatur T_i . Das liegt daran, daß sich der unterste Temperaturfühler im Tank unterhalb des Tankauslasses (Rücklauf) befindet (vgl. Abb. 3-10). Wegen der extremen Temperaturschichtung im Tank - zwischen T_1 und T_2 z.B. 17 °C um 16.15 h (Abb. 4-28) - kann es daher zu oben beschriebenem Effekt kommen. Daraus ergeben sich Probleme bei der Ermittlung der mittleren Tanktemperatur T_m , weil dafür eine lineare Temperaturschichtung im Speicher vorausgesetzt wurde (vgl. Kap. 3.2.1.1). Der Vergleich zwischen der gemessenen mittleren Tanktemperatur T_m und der aus dem Temperaturverteilungsdiagramm hervorgehenden T_{mth} in Abb. 4-28 zeigt allerdings, daß diese Effekte so gut wie keinen Einfluß auf die Mittelung haben.

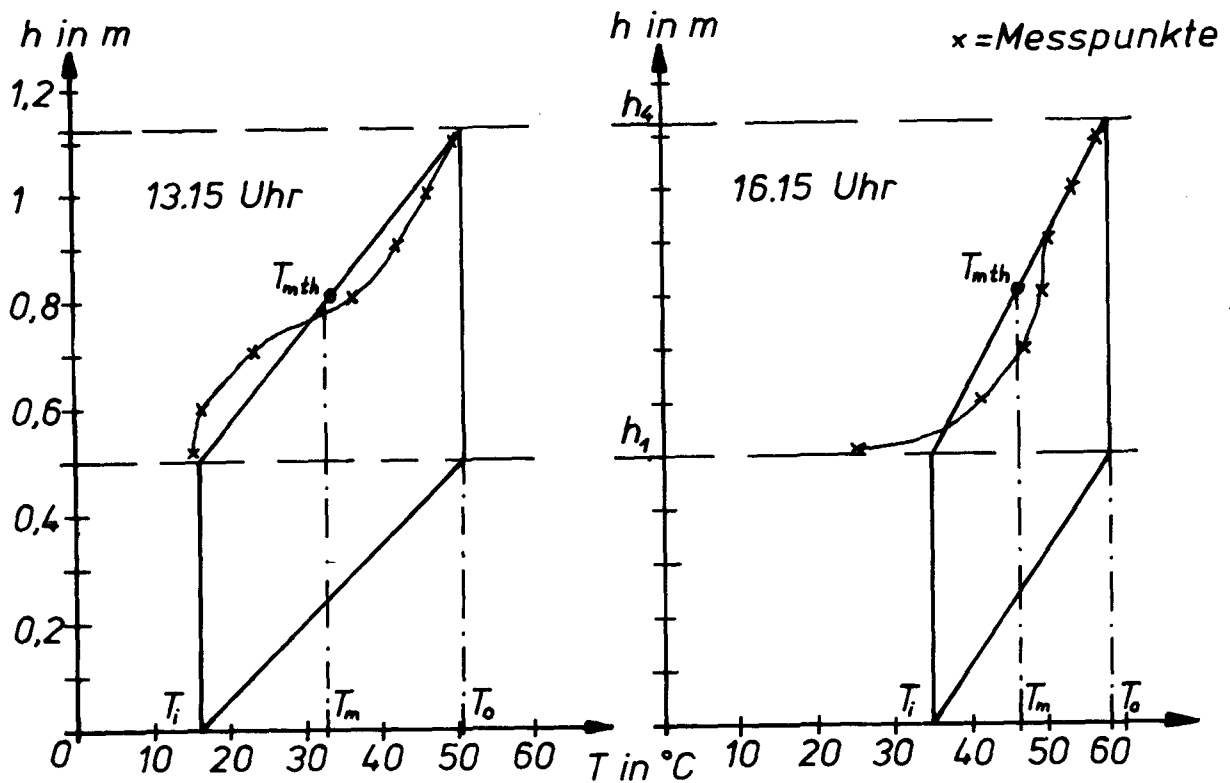


Abb. 4-28: Das Temperaturverteilungsdiagramm für zwei verschiedene Tageszeiten für System MB (10.6.82)

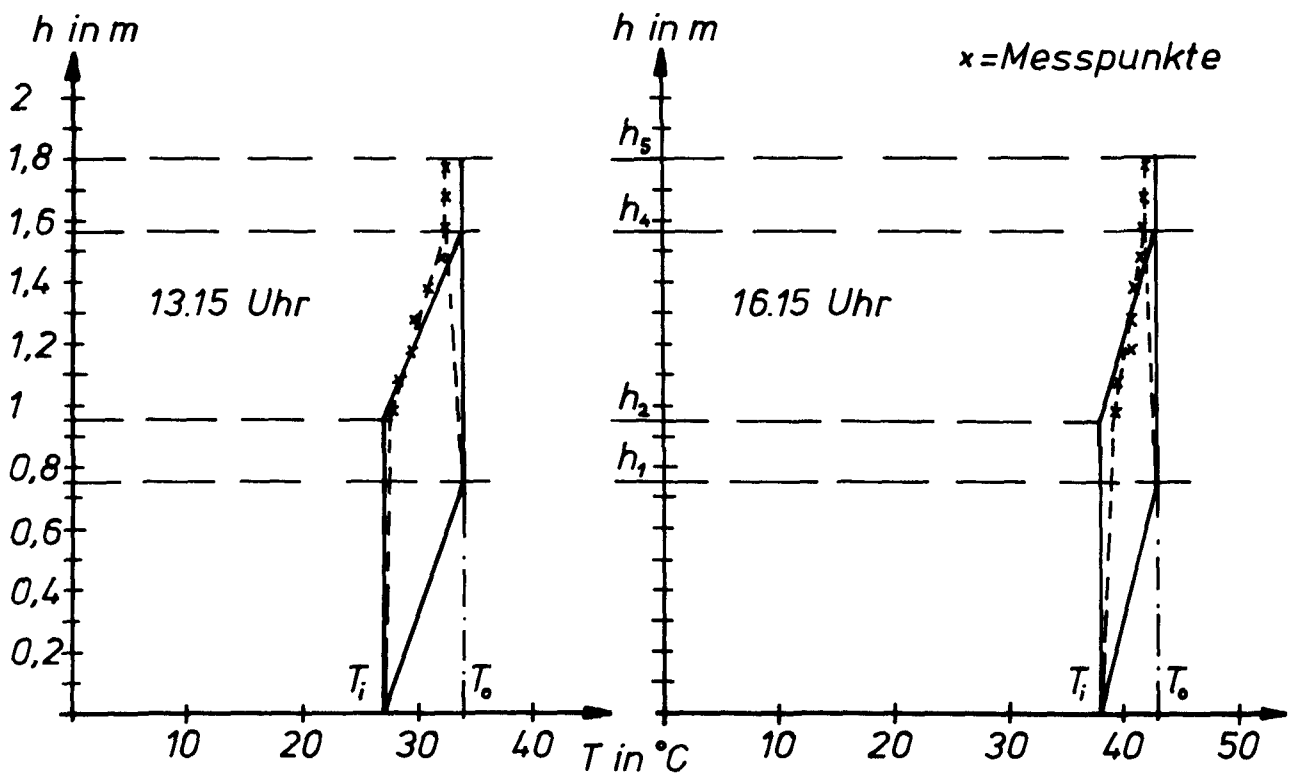


Abb. 4-29: Das Temperaturverteilungsdiagramm für zwei verschiedene Tageszeiten für System C (10.6.82)

Zusammenfassend kann man festhalten, daß das Temperaturverteilungsdiagramm nach Kap. 2.5 für Systeme mit hohem Durchfluß (System C) eine sehr gute Übereinstimmung mit der tatsächlichen Verteilung ergibt, während für Systeme mit geringem Durchfluß (System MB) Abweichungen in Kauf genommen werden müssen, die allerdings bei der Mittelung herausfallen.

4.4 Wirkungsgrad und Zeitverhalten

In diesem Kapitel soll der Systemwirkungsgrad über den gesamten Tag bestimmt werden. Ferner sollen einige qualitative Aussagen über das Zeitverhalten der Systeme gemacht werden.

4.4.1 Der Systemwirkungsgrad ohne Entnahme

Der Wirkungsgrad ist allgemein als Verhältnis von nutzbarer Energie zur zugeführten Energie definiert,

$$\eta = \frac{Q_n}{Q_a} \quad (4-22)$$

Beim Thermosiphonsystem ist die Nutzenergie die vom Tank in dem betrachteten Zeitraum aufgenommene Energie, also

$$Q_n = M c_p \Delta T_m \quad (4-23)$$

Die zugeführte Energie ist die gesamte eingestrahlte Energie, also

$$Q_a = A_c \int_{t_1}^{t_2} S dt \quad (4-24)$$

Damit ergibt sich für den Systemwirkungsgrad ohne Entnahme

$$\eta_{so} = \frac{M c_p \Delta T_m}{A_c \int S dt} \quad (4-25)$$

Betrachtet man den Zeitraum vom 10.06. 8 Uhr bis zum 11.06. 8 Uhr, dann kann man η_{so} für beide Systeme mit den vorhandenen Zahlenwerten, welche in Tab. 4.4 zusammengefaßt sind, berechnen.

Das $\int S dt$ wurde zum einen graphisch aus Abb. 4-1 zu $6,75 \text{ kWh/m}^2$ und zum andern mit der Näherung $S(t) = S_{\max} \sin \omega_1 t$ nach Kap. 4.1.1 zu $7,26 \text{ kWh/m}^2$ bestimmt. Durch die Näherung wird also wegen der Vernachlässigung des Strahlungseinbruchs um die Mittagszeit die gesamte zugeführte Energie um etwa 7 % zu hoch eingeschätzt.

Parameter	Einheit	System MB	System C
M	kg	110	200
c_p	Wh/kgK	1,16	1,16
$T_m(t=0)$	°C	15	15
$T_m(t=24)$	°C	47,5	39,1
$\Delta T_m \Big _0^{24}$	°C	32,5	24,1
A_c	m ²	1,5	1,75
$\int S dt$	Wh/m ²	6 750	6 750

Tab.4.4: Die zur Berechnung des Systemwirkungsgrads ohne Entnahme benötigten Werte

Mit den Werten aus Tab. 4.4 ergibt sich für die Systemwirkungsgrade über einen gesamten Tag (24 Stunden):

$$\eta_{soMB} = 41 \quad \% \text{ für das System MB}$$

und

$$\eta_{soC} = 47,3 \quad \% \text{ für das System C.}$$

Betrachtet man nur die Zeit der Einstrahlung (8 - 20 Uhr), dann ergeben sich Wirkungsgrade von

$$\eta_{dMB} = 45,4 \quad \% \text{ für das System MB}$$

und

$$\eta_{dC} = 56,8 \quad \% \text{ für das System C}$$

Die Abb. 4-30 zeigt den Verlauf der im Tank gespeicherten Energien Q_n sowie den Strahlungsverlauf über den betrachteten Zeitraum vom 10. - 11.6.82.

Nach Gl. 4-25 wurden weitere Wirkungsgrade auch für Tage mit geringerer Einstrahlung berechnet. Für einen Tag mit einer gesamten eingestrahltten Energie von $\int S dt = 3,1 \text{ kWh/m}^2$ ergaben sich Wirkungsgrade von

$$\eta_{soMB} = 38 \quad \% \text{ und } \eta_{soC} = 41 \quad \%$$

Bei einer noch geringeren Einstrahlung von $\int S dt = 1 \text{ kWh/m}^2$ betrug der Wirkungsgrad

$$\eta_{soMB} = 34 \quad \% \text{ und } \eta_{soC} = 40 \quad \%$$

und nach einem weiteren Tag mit $\int S dt = 3,3 \text{ kWh/m}^2$ betrug der Wirkungsgrad über beide Tage

$$\eta_{2dMB} = 28 \quad \% \text{ und } \eta_{2dC} = 31 \quad \%.$$

Alle Wirkungsgrade sind für Tage berechnet, an denen kein Wasser entnommen wurde, d.h. es sind spezielle Werte für einzelne Tage. Daher sind sie hier als Anhaltspunkte für den Systemwirkungsgrad zu verstehen und erheben keinen Anspruch auf

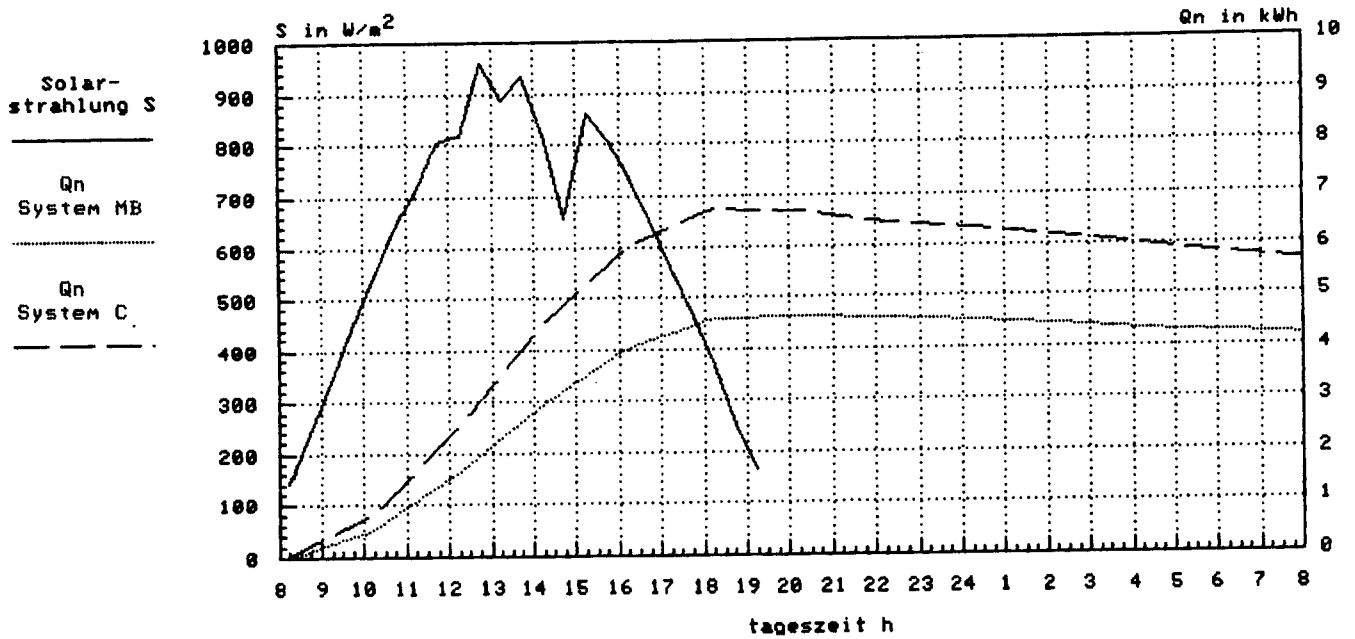


Abb. 4-30: Nutzenergie Q_n und Solarstrahlung S
(10. - 11.6.82)

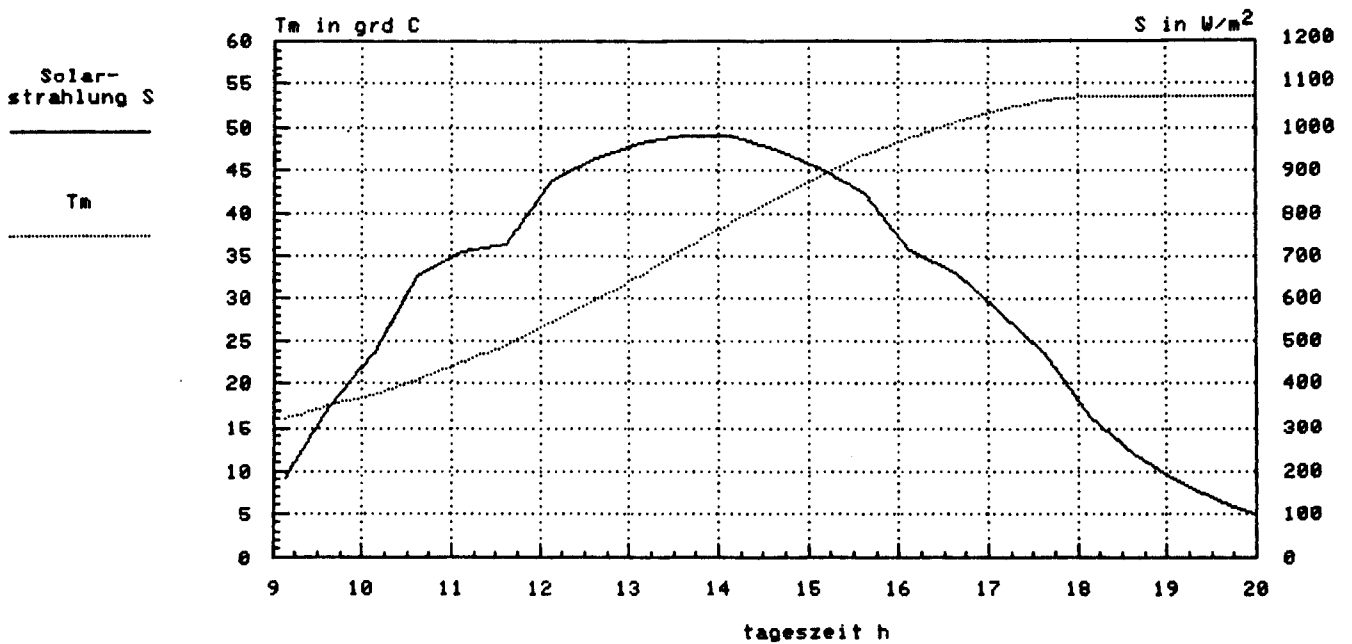


Abb. 4-31: Solarstrahlung S und mittl. Tanktemperatur T_m
für System MB mit Doppelscheibe (3.6.1982)

allgemeine Gültigkeit. Realistischere Werte für den Wirkungsgrad erhält man, wenn man das Verhalten der Systeme bei Entnahme untersucht (vgl. Kap. 4.5.3).

4.4.2 Vergleich Einzelscheibe - Doppelscheibe (System MB)

Schon in Kap. 4.1.4 wurden die Kollektorkennwerte für das System MB bestimmt und zwar sowohl für die Einzelglas - als auch für die Doppelglasabdeckung. Ein Vergleich zeigt, daß, wie zu erwarten, der mittlere Wärmeübergangskoeffizient U_L für den Kollektor mit Doppelscheibe mit $3,9 \text{ W/m}^2\text{K}$ kleiner ist als für die Einzelscheibe mit $4,5 \text{ W/m}^2\text{K}$. Die Verluste des Kollektors werden also durch die Doppelscheibe verringert. Da allerdings die Transmission der Doppelscheibe kleiner ist, d.h. weniger Energie durchgelassen wird, stellt sich die Frage, inwieweit die Doppelglasabdeckung vorteilhaft ist.

Abb. 4-31 zeigt den Verlauf der mittleren Tanktemperatur T_m und der Solarstrahlung S vom 03.06.82. Die Meßdaten von diesem Tag (siehe Anhang B) wurden verwendet, um die Kollektorkennwerte zu bestimmen (vgl. Kap. 4.1.4). An diesem Tag betrug die gesamte auf die geneigte Kollektorfläche auftreffende Globalstrahlung

$$\int_9^{20} S dt = 6,9 \text{ kWh/m}^2.$$

Der Temperaturgewinn betrug in der gleichen Zeit $\Delta T_m = 37,6 \text{ }^\circ\text{C}$. Aus diesen Werten kann man nun den Systemwirkungsgrad über die Zeit der Einstrahlung berechnen:

$$\eta_d = 46,4 \text{ } \%$$

Der Wirkungsgrad des Systems mit Einzelglasabdeckung betrug $45,4 \text{ } \%$ (vgl. Kap. 4.4.1), lag also absolut $1 \text{ } \%$ niedriger. Relativ macht der Unterschied $2,1 \text{ } \%$ aus, d.h. man erzielt mit der Doppelscheibe einen Temperatur- bzw. Energiegewinn von nur

2,1 %. Die mittlere Tanktemperatur T_m stieg an diesem Tag bis auf 53,6 °C - im Vergleich zu 51 °C am 10.6.82 bei etwas geringerer Einstrahlung.

4.4.3 Das Zeitverhalten der Systeme

Aus Abb. 4-15 und 4-30 kann man die Zeitverschiebung der Systeme ablesen, i.e. die Zeit, die zwischen dem Maximum der zugeführten Energie (Solarstrahlung) und dem Maximum der im Tank enthaltenen Energie Q_n (oder T_m) liegt. Die Zeitverschiebung beträgt beim System MB ca. 5 Stunden und beim System C ca. 4 Stunden. Das zeigt, daß die Systeme bezüglich der nutzbaren Energie sehr träge sind.

Um das Zeitverhalten der Systeme genauer zu untersuchen, wurden die Kollektoren abgedeckt und über die Mittagszeit etwa 2 Stunden aufgedeckt, also während der Zeit relativ hoher, konstanter Einstrahlung. Die Ergebnisse aus diesem Einschalt- und Abschaltvorgang zeigen die Abb. 4-32 und 4-33.

Die Strahlung betrug im Mittel $S = 920 \text{ W/m}^2$ über die Zeit, während der die Kollektoren aufgedeckt waren (2.7.82, Meßdaten siehe Anhang B). Sie sinkt nach Abdecken der Kollektoren nicht sofort auf Null, weil zunächst der Abdeckvorgang einige Zeit in Anspruch nimmt und 5-min-Mittelwerte gebildet wurden. Da die Kollektoren flach abgedeckt wurden, das Pyranometer aber eine runde Glaskuppel hat, konnte seitlich noch etwas diffuse Strahlung zum Pyranometer durchdringen (durchgezogene Linie in Abb. 4-32 und 4-33). Sie traf aber nicht auf die Absorber, so daß die Einstrahlung sofort nach Abdecken der Kollektoren (15,78 Uhr) als Null betrachtet werden kann.

Die Temperaturdifferenz im Kollektor ΔT_c wird sofort nach "Einschalten" der Strahlung aufgebaut, d.h. die Kollektoren reagie-

ren, wie zu erwarten, ohne große Zeitverzögerung auf Strahlungsänderungen. Dabei reagiert der Kollektor des Systems MB schneller als der des Systems C. Es kommt beim System MB sogar zu einem Einschwingen. Aufgrund der hohen Einstrahlung stellt sich sehr schnell ein großes ΔT_c ein, welches einen großen Durchfluß zur Folge hat. Dadurch sinkt das ΔT_c wieder etwas ab (nach ca. 20 min) und damit auch der Fluß. Diesen Einschwingvorgang sieht man sehr deutlich am Verlauf der Tanktemperaturänderung $\Delta T_m / \Delta t$. Zunächst steigt sie wegen des großen Flusses steil an. Dann sinkt ΔT_m wegen der Verringerung des Flusses sogar wieder bis auf Null ab (nach ca. 20 min). Nach etwa 50 Minuten, also nachdem sich ΔT_c und damit der Fluß eingependelt haben, stellt sich auch ein konstantes $\Delta T_m / \Delta t$ ein (vgl. auch Abb. 4-6 und 4-11).

Bei System C dagegen kann man kaum ein Einschwingen feststellen (Abb. 4-33). Das bedeutet, daß der Kollektor des Systems C träger ist (vgl. Kap. 4.1.4.3). Das erkennt man auch an Abb. 4-7. Dort macht sich der Strahlungseinbruch nicht in der mittleren Absorbertemperatur T_a bemerkbar. Außerdem machen sich geringe Durchflußschwankungen bei System C nicht so stark im ΔT_m bemerkbar, was auf die wesentlich größere Wassermasse zurückzuführen ist. Nach "Abschalten" der Strahlung müßte ΔT_c eigentlich auf Null sinken. Da aber im Absorber noch Restwärme gespeichert ist, kommt es noch weiterhin zu einem thermosiphonischen Fluß, der jedoch sehr viel kleiner als vorher ist. Das macht sich in den Kurven (Abb. 4-32 und 4-33) folgendermaßen bemerkbar

- das ΔT_c sinkt zunächst steil ab bis auf einen gewissen Wert (beim System MB kommt es dabei wieder zu einem Einschwingen) und fällt dann mit Abnahme der Restwärme des Absorbers langsam ab,
- das $\Delta T_m / \Delta t$, die Änderung der mittleren Tanktemperatur, ist wegen des geringen Flusses nur noch sehr klein, d.h.
- die mittlere Tanktemperatur T_m steigt nur noch geringfügig an.

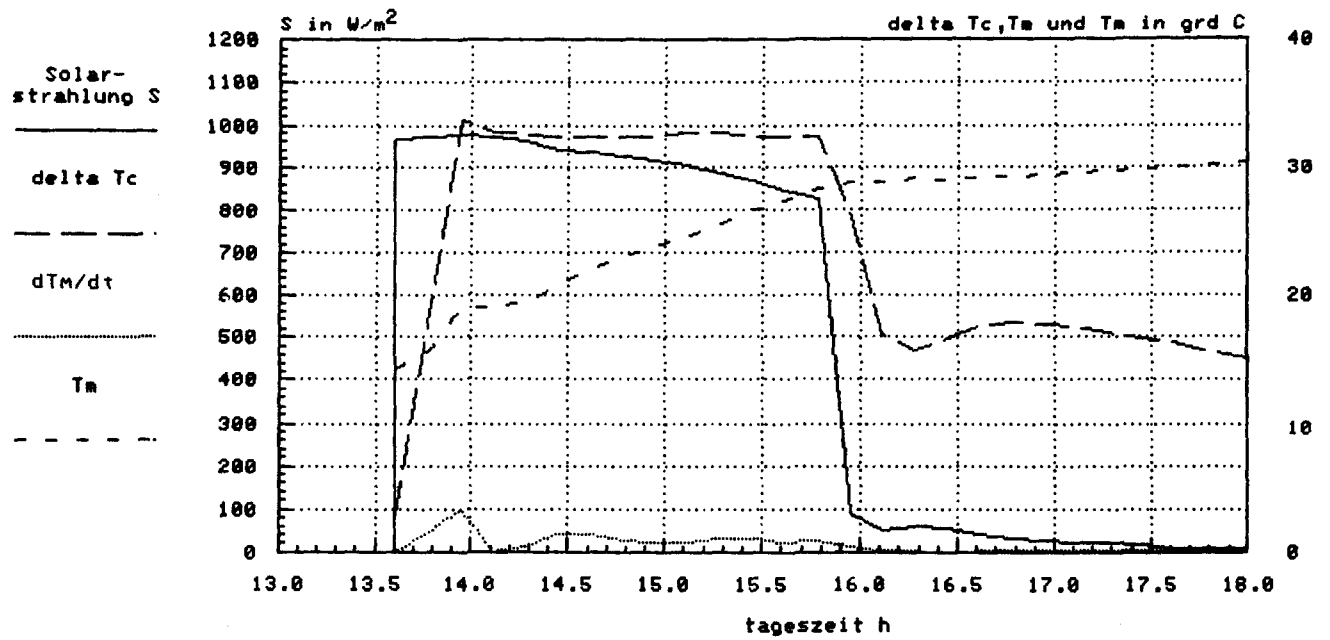


Abb. 4-32: Einschaltvorgang für System MB (2.7.82)

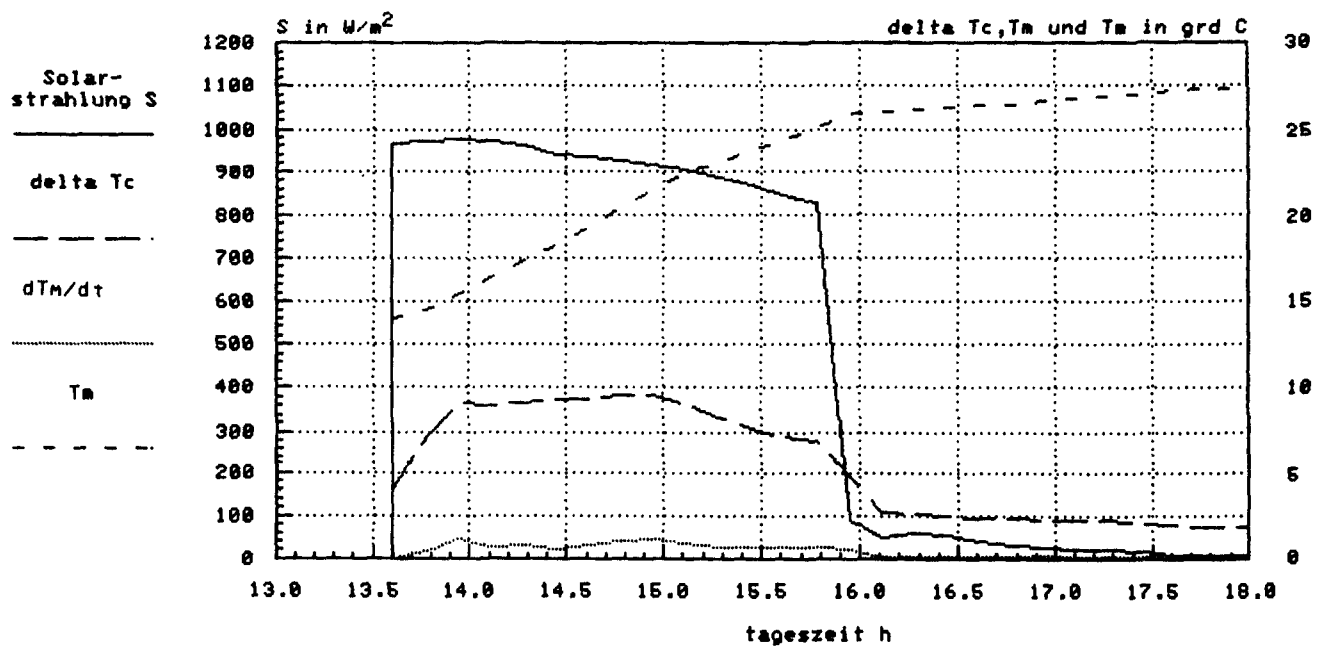


Abb. 4-33: Einschaltvorgang für System C (2.7.82)

4.5 Verhalten der Systeme bei Entnahme

Um das Verhalten der Systeme bei Entnahme zu untersuchen, wurden über eine Woche (12.-16.7.82) zwei Verbrauchsprofile gefahren. Am ersten Tag (12.7.) wurden die Anlagen mit Frischwasser gefüllt und nichts entnommen. Am zweiten und dritten Tag (13. und 14.7.) wurde ein Verbrauchsprofil gefahren, bei dem morgens ca. 7.30 Uhr 30 %, mittags ca. 12.30 Uhr 15 % und abends ca. 19 Uhr 40 % des Wassers entnommen wurden (Verbrauchsprofil 1). Am vierten Tag (15.7.) wurde ein ägyptischen Verhältnissen entsprechender Verbrauch simuliert (Verbrauchsprofil 2). Dabei wurde davon ausgegangen, daß das System C für einen 6-Personen-Haushalt (3 Erwachsene/3 Kinder) konzipiert wurde /34/ und das System MB entsprechend kleiner für einen 3-Personen-Haushalt (2 Erwachsene/1 Kind). Das Profil sah so aus, daß morgens gegen 8 Uhr jeder Erwachsene 30 l und jedes Kind 15 l, mittags gegen 14 Uhr und nachts gegen 23 Uhr jeder Erwachsene jeweils 40 l und jedes Kind jeweils 20 l verbraucht, wobei die benötigte Wassertemperatur etwa 35 °C betragen sollte. Es zeigte sich, daß beide Anlagen mit diesem Verbrauch bei den vorliegenden Bedingungen überfordert waren, so daß am darauffolgenden Tag (16.7.) kein genügend warmes Wasser zur Verfügung stand.

Bei der Entnahme wurde so vorgegangen, daß 10 l-weise entnommen und jeweils die Temperatur der 10 l-Menge mit einem kalibrierten Quecksilberthermometer, welches auf 0,1 °C genau anzeigte, gemessen wurde. Damit konnten die Temperaturfühler überprüft werden und zum anderen die entnommene Wärmemenge bestimmt werden.

Während der Entnahmeperioden wurde die Datenerfassungsanlage auf 5 min-Werte umgestellt, d.h. im Outprint sind die Mittelwerte der vorangegangenen 5 Minuten ausgedruckt. Die Meßdaten für den 14. und 15.7., die hier stellvertretend für die anderen Tage näher behandelt werden sollen, sind Anhang B zu entnehmen. In den Abb. 4-34 bis 4-39 sind die Ergebnisse dieser Tage zusammengefaßt.

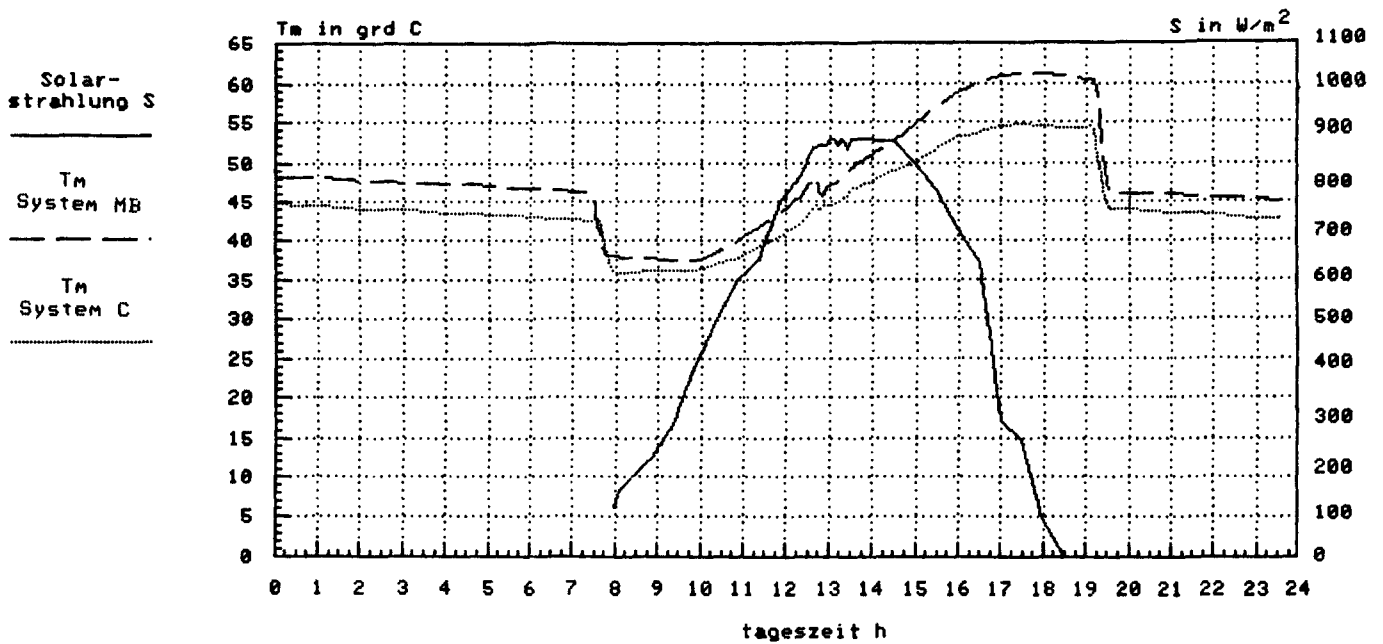


Abb. 4-34: Verbrauchsprofil 1 - Solarstrahlung S und mittl. Tanktemperatur T_m (14.7.82)

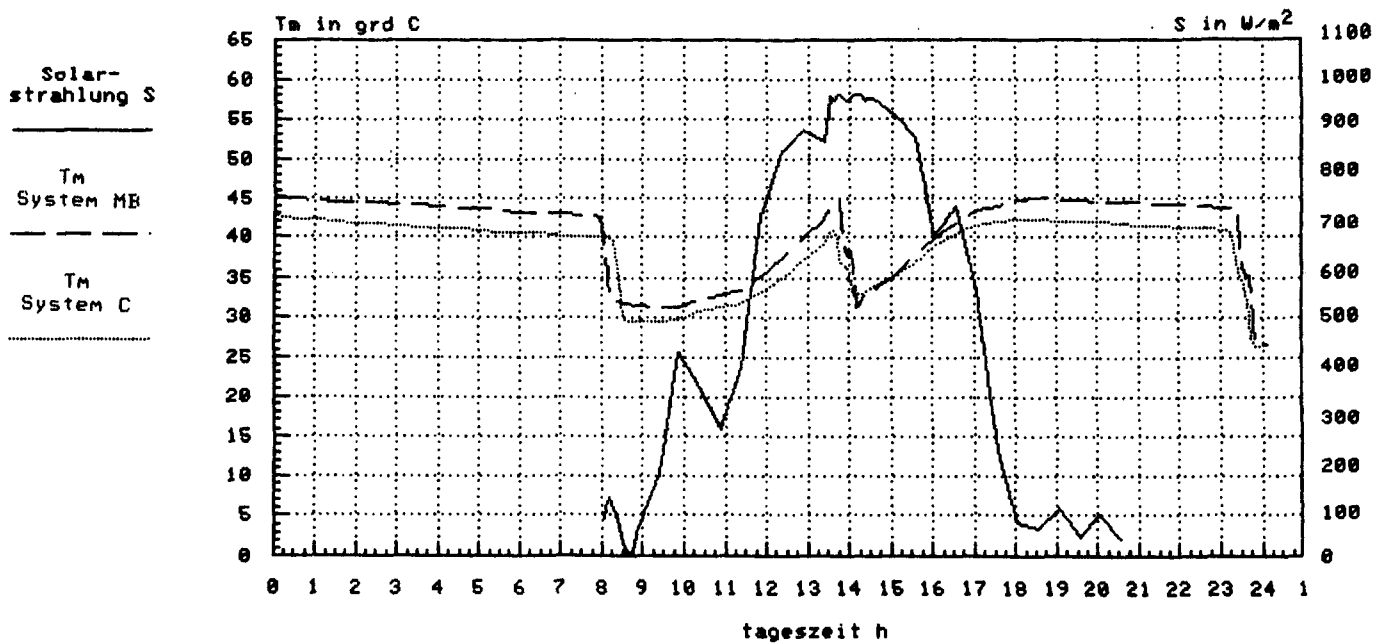


Abb. 4-35 Verbrauchsprofil 2 - Solarstrahlung und mittlere Tanktemperatur T_m (15.7.82)

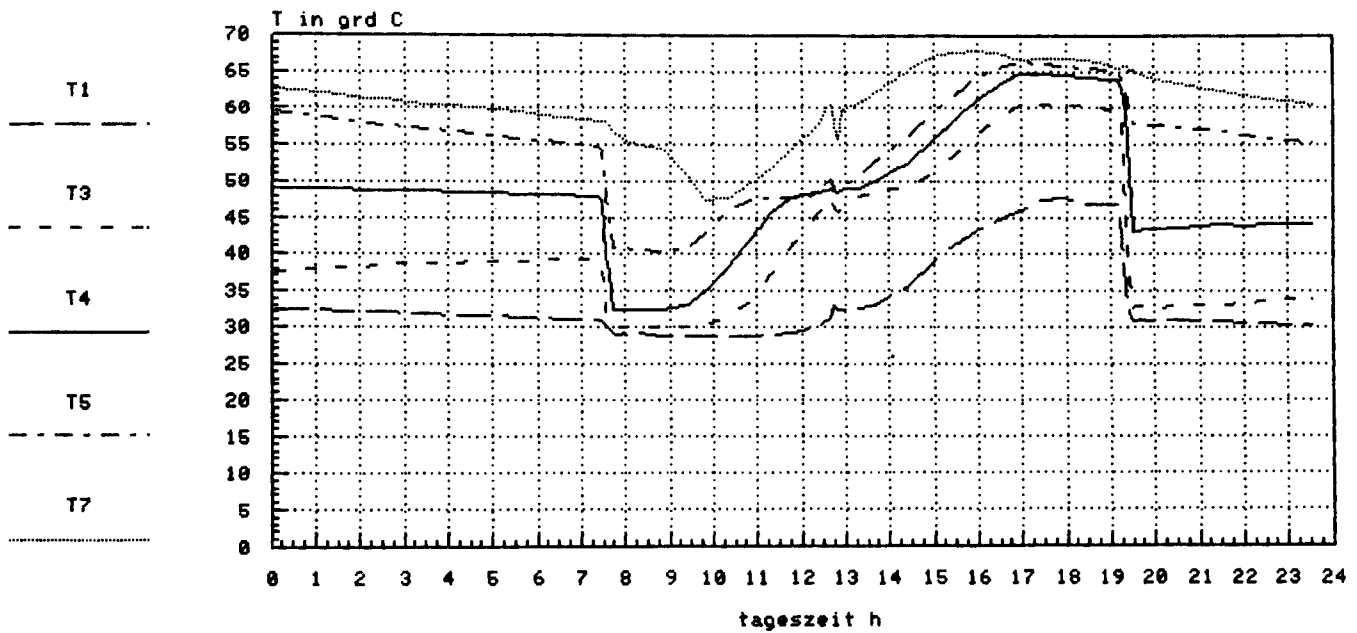


Abb. 4-36: Verbrauchsprofil 1 - Temperaturschichtung
im Tank des Systems MB (14.7.82)

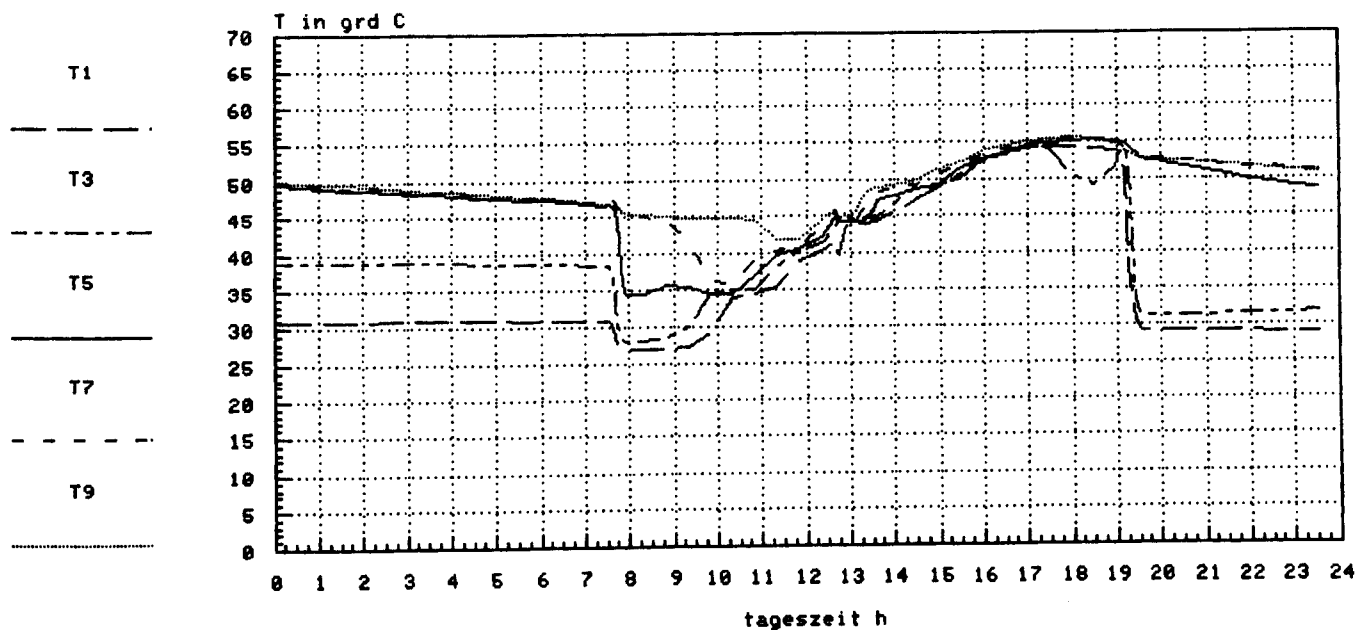


Abb. 4-37 Verbrauchsprofil 2 - Temperaturschichtung
im Tank des Systems C (14.7.82)

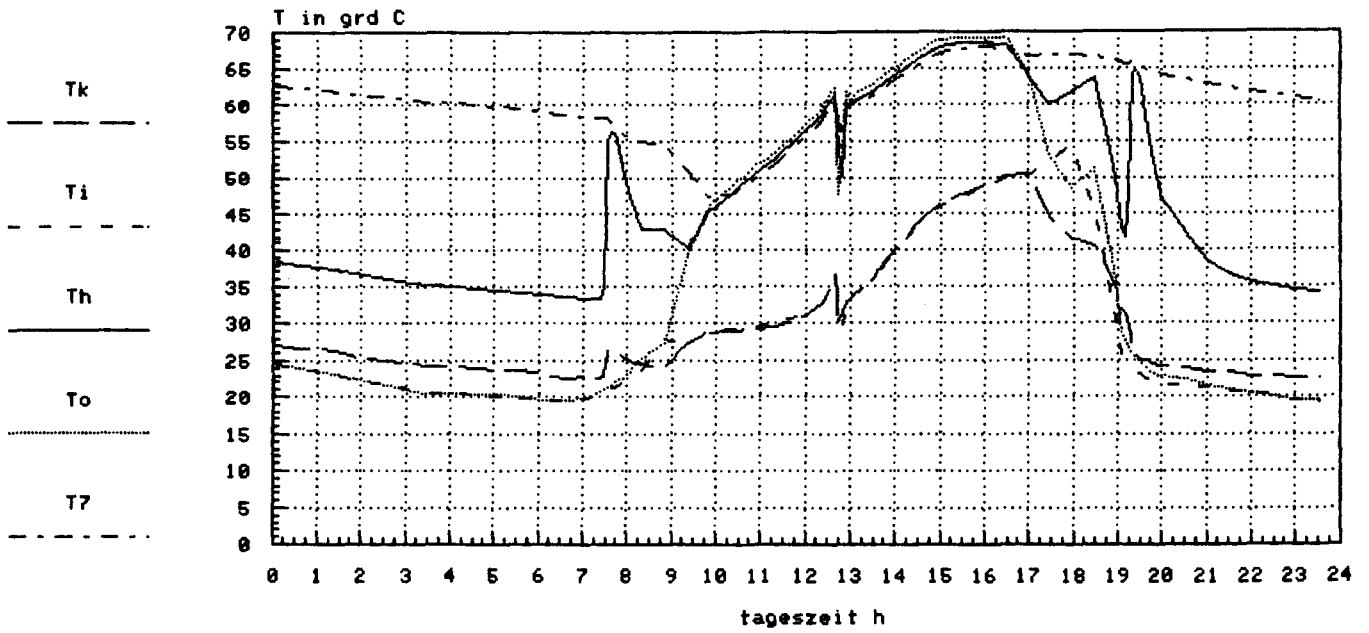


Abb. 4-38: Verbrauchsprofil 1 für System MB (14.7.82)

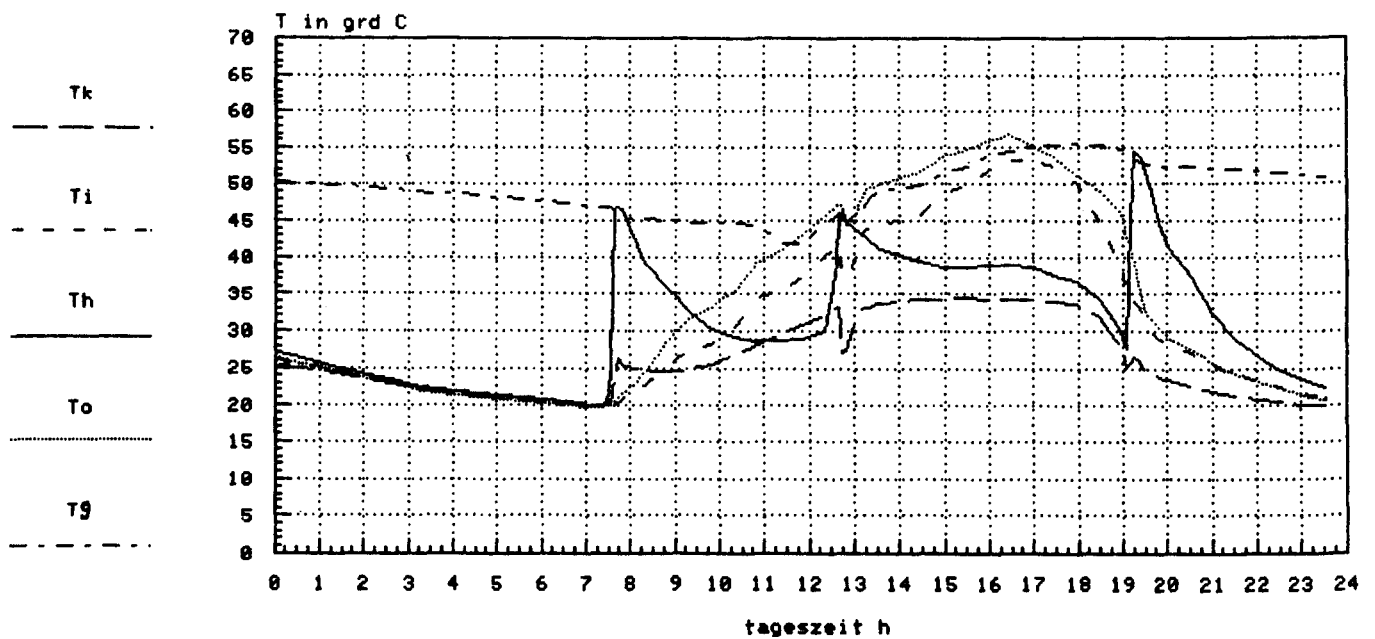


Abb. 4-39 Verbrauchsprofil 1 für System C (14.7.82)

4.5.1 Verbrauchsprofil 1 vom 14.7.82

Das Verbrauchsprofil vom 14.7.82 ist in Tab. 4.5.1 zusammengefaßt.

Beginn der Entnahme	Entnahmemenge		
	in %	in Liter	
		System MB	System C
ca. 7,30 Uhr	30	33	60
ca. 12,30 Uhr	15	16,5	30
ca. 19 Uhr	40	44	80

Tab.4.5.1: Verbrauchsprofil 1 vom 14.7.82

In Abb. 4-34 ist der Verlauf der mittleren Tanktemperatur beider Systeme und der Solarstrahlung vom 14.7.82 aufgetragen. Die gesamte eingestrahelte Energie betrug an diesem Tag

$$\int_{7,30}^{18,30} S dt = 5,8 \text{ kWh/m}^2.$$

Die gesamte entnommene Energie Q_e betrug

$$\begin{aligned} Q_{eMB} &= 3,8 \text{ kWh für System MB} \\ \text{und } Q_{eC} &= 4,45 \text{ kWh für System C.} \end{aligned}$$

Mit den entsprechenden Kollektorflächen ergibt sich die entnommene Energie pro m^2 Kollektorfläche q_e zu

$$\begin{aligned} q_{eMB} &= 2,35 \text{ kWh/m}^2 \text{ für System MB} \\ \text{und } q_{eC} &= 2,54 \text{ kWh/m}^2 \text{ für System C.} \end{aligned}$$

Bei dieser Entnahme stand am nächsten Morgen in beiden Systemen etwa genau soviel Energie zur Verfügung wie am 14.7.82 morgens, d.h. der mit Verbrauchsprofil 1 simulierte Verbrauch entspricht in etwa der Kapazität beider Systeme (mit der entsprechenden Einstrahlung).

Dabei lag die Temperatur des entnommenen Wassers in keinem Fall unter 40°C , beim System MB nicht unter 50°C . Die niedrigste Temperatur betrug für System C $45,6^{\circ}\text{C}$ und für System MB $53,5^{\circ}\text{C}$. Die höchste Temperatur wurde am Abend erreicht mit $64,3^{\circ}\text{C}$ für System MB und $53,8^{\circ}\text{C}$ für System C.

Die Abb. 4-36 und 4-37 zeigen, wie sich die Temperaturschichtung im Tank während Entnahme verhält. Leider hatte das Speisewasser eine Temperatur von 27°C , so daß bei der niedrigsten Temperatur T_1 am Morgen kaum ein Einbruch bemerkbar wurde. Am Abend allerdings kann man ein deutliches Absinken der untersten Temperaturen im Speicher feststellen. Dadurch entsteht bei System C eine Temperaturschichtung, die während der Nacht erhalten bleibt, allerdings am Tag wieder schnell zerstört wird (Abb. 4-37).

Bei System MB bleibt die sehr gute Temperaturschichtung auch bei Entnahme erhalten (Abb. 4-36).

In den Abb. 4-38 und 4-39 sind die Speisewassertemperatur T_k , die Kollektoreintrittstemperatur T_i , die Temperatur der Entnahme T_h , die Kollektoraustrittstemperatur T_o und die oberste Tanktemperatur T_7 bzw. T_9 aufgetragen. Hierbei sieht man deutlich, wie ungünstig der Speisewasserzulauf und die Entnahme bei System MB angebracht sind (vgl. Kap. 3.1.1). Sowohl T_k als auch T_h sinken während der Nacht nicht auf Umgebungstemperatur ab wie T_i und T_o , d.h. es geht Energie verloren. Tagsüber erkennt man den Nachteil deutlich, besonders während der Entnahme am Mittag. Durch den Frischwasserzufluß sinkt T_i um $7,5^{\circ}\text{C}$, T_o dagegen um 15°C . Ebenso wie T_o sinkt auch T_h um $12,5^{\circ}\text{C}$, während die obere Tanktemperatur T_7 nur um 4°C absinkt. Das zeigt, daß die Energie nicht nur dem Tank entnommen wird, denn sonst müßte $T_h = T_7$ sein. Zusätzlich wird also vom Vorlauf, d.h. aus dem Kollektor, Wasser entnommen. Dadurch wird der Fluß im Kollektor größer, so daß T_o kleiner wird und damit auch T_h . Dieser negative Effekt tritt während der Entnahme am Morgen und am Abend nicht auf. Die Temperatur T_h steigt dann genau bis zur Temperatur T_7 an und fällt nach Ende

der Entnahme wieder ab. Da während der Entnahme morgens und abends der thermosiphonische Fluß $\dot{m} = 0$ ist, weil die Entnahme vor Öffnung (8.30 Uhr) bzw. nach Schließung (18.30 Uhr) des Absperrventils stattfindet, kann man festhalten, daß der oben beschriebene Effekt der Vermischung von Wasser aus dem Kollektor mit Wasser aus dem Tank nur auftritt, wenn ein Fluß durch den Kollektor vorhanden ist. Dann allerdings ist dieser Effekt als negativ zu bewerten, da die erreichbare Entnahmetemperatur bei größeren Entnahmemengen unterhalb der Speichertemperatur bleibt, also die im Tank gespeicherte Energie nicht vollständig freigesetzt wird /35/.

Bei System C tritt dieser Effekt nicht auf, da Speisewasserzu-
lauf und Brauchwasserentnahme völlig getrennt vom übrigen Rohr-
system sind. Während der Nacht sinken T_k , T_i , T_h und T_o auf Um-
gebungstemperatur ab. Bei jeder Entnahme steigt T_k bis auf die
höchste Temperatur T_o an und fällt danach wieder auf Umgebungs-
temperatur ab. T_k pendelt sich bei jeder Entnahme auf die Spei-
sewassertemperatur von 27 °C ein. Das bewirkt bei der Entnahme
am Mittag ein Absinken von T_i um 4,2 °C, dagegen von T_o um nur
2,8 °C, während T_h davon unbeeinflusst bleibt.

4.5.2 Verbrauchsprofil 2 vom 15.7.82

Das Verbrauchsprofil 2 sollte einen ägyptischen Verhältnissen
entsprechenden Verbrauch simulieren. Es wurde davon ausgegan-
gen, daß wegen der durchschnittlich höheren Temperaturen in
Ägypten die untere Temperaturgrenze für Brauchwasser niedriger
ist als in hiesigen Breiten. Sie wurde auf 35 °C festgelegt.

In Tab. 4.5.2 ist das am 15.7.82 gefahrene Verbrauchsprofil 2
zusammengefaßt.

Beginn der Entnahme	Entnahmemenge in l			
	System MB		System C	
	35° warmes Wasser	Wasser mit Speicher- temp.	35° warmes Wasser	Wasser mit Speicher- temp.
ca. 8 Uhr	75 l	≅ 50 l mit 50°C	100 l	≅ 90 l mit 45°C
ca. 13,40 Uhr	100 l	≅ 80 l mit 50°C	180 l	≅ 165 l mit 40°C
ca. 23,10 Uhr	100 l	≅ 85 l mit 45°C	185 l	≅ 165 l mit 40°C

Tab.4.5.2: Verbrauchsprofil 2 vom 15.7.82

In Abb. 4-35 sind die mittleren Tanktemperaturen und die Solarstrahlung vom 15.7.82 aufgetragen. Die gesamte eingestrahlte Energie betrug an diesem Tag

$$\int_{730}^{1930} S dt = 5,5 \text{ kWh/m}^2$$

Die gesamte entnommene Energie betrug

$$\begin{aligned} Q_{eMB} &= 5,32 \text{ kWh für System MB} \\ Q_{eC} &= 6,84 \text{ kWh für System C.} \end{aligned}$$

Mit den entsprechenden Kollektorflächen ergibt sich die entnommene Energie pro m² Kollektorfläche q_e zu

$$\begin{aligned} q_{eMB} &= 3,55 \text{ kWh/m}^2 \text{ für System MB} \\ q_{eC} &= 3,9 \text{ kWh/m}^2 \text{ für System C.} \end{aligned}$$

Die Brauchwassertemperatur lag zwischen 42,6 °C und 54,7 °C für System MB und zwischen 38,3 °C und 46,3 °C für System C, d.h. die Anlagen konnten Verbrauchsprofil 2 am 15.7.82 erfüllen. Allerdings stand am nächsten Morgen kein warmes Wasser zur Verfügung. Die mittlere Tanktemperatur beider Systeme sank auf Speisewassertemperatur ab (Abb. 4-35). Damit kann man festhalten, daß beide Anlagen bei der verfügbaren, eingestrahlten Energie mit Verbrauchsprofil 2 überlastet waren. Da die zur Verfügung stehende Leistung in Ägypten im Mittel nicht viel größer ist als die an diesem Tag vorliegende, ist, wenn man den mit Verbrauchsprofil 2 simulierten Verbrauch voraussetzt, das System MB für eine dreiköpfige und das System C für eine sechsköpfige Familie zu klein ausgelegt.

In den Abb. 4-40 und 4-41 sind die Solarstrahlung und die mit einer bestimmten Minimaltemperatur im Tank enthaltenen Wassermengen aufgetragen. Aus diesen Diagrammen kann man ersehen, zu welcher Tageszeit man wieviel Liter mit mindestens 40 °C und mindestens 50 °C entnehmen kann. Es wurden die Meßwerte vom 10.6.82 verwendet. Die Temperaturlinien wurden mit Hilfe der Temperaturfühler im Tank erstellt, wobei jedem Fühler ein bestimmtes Volumen zugeordnet wurde (vgl. Kap. 3.2.1.1). Die Temperaturen 40 °C und 50 °C wurden gewählt, weil sie allgemein als untere Temperaturgrenzen für Brauchwasser zum Duschen und Waschen (40 °C) bzw. zum Spülen von Geschirr (50 °C) angegeben werden.

Bei System C wird 50 °C nicht erreicht. Die 40 °C-Linie ist sehr steil wegen der schlechten Temperaturschichtung im Tank.

4.5.3 Der Systemwirkungsgrad

Es gibt zwei Möglichkeiten den Systemwirkungsgrad mit Entnahme zu bestimmen:

- 1) Einen Tageswirkungsgrad über 24 h aus der gesamten entnommenen Energie Q_e und der gesamten eingestrahlten Energie Q_a

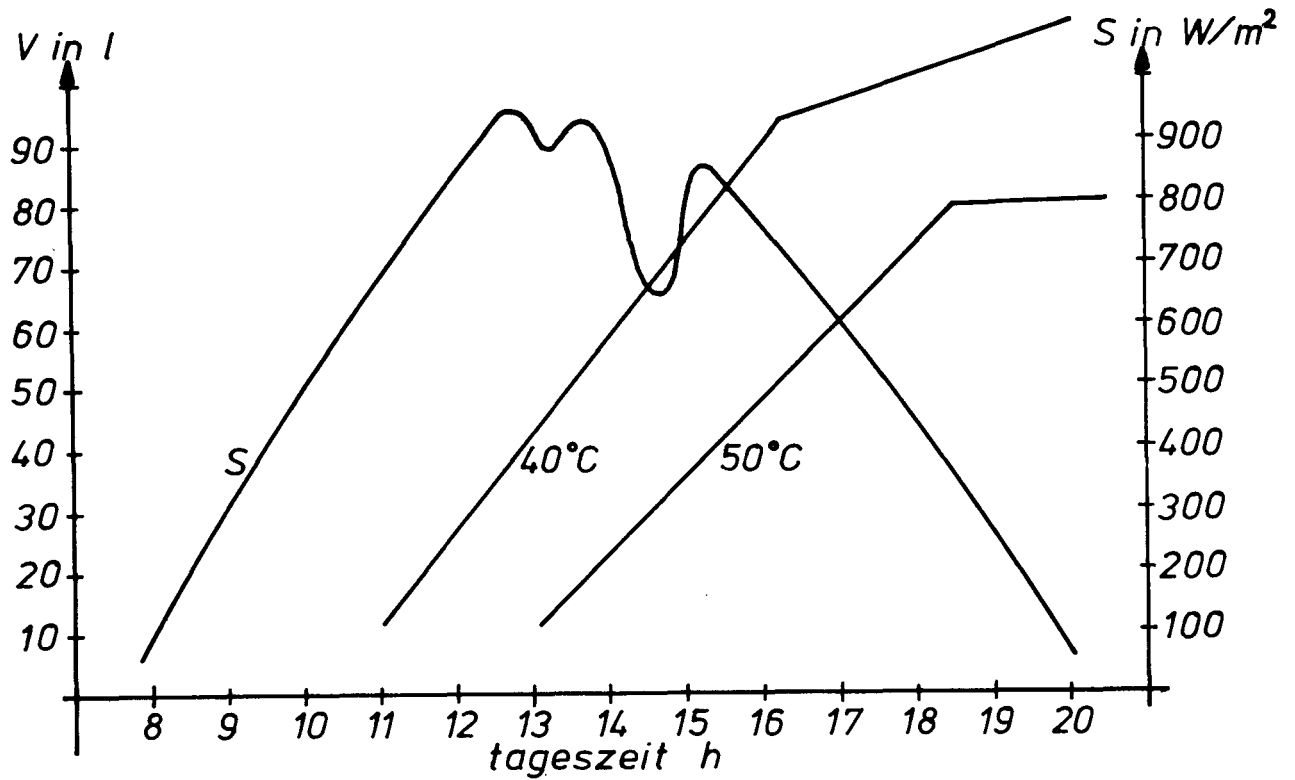


Abb. 4-40: Wassermengen im Tank oberhalb einer bestimmten Temperatur für System MB (10.6.82)

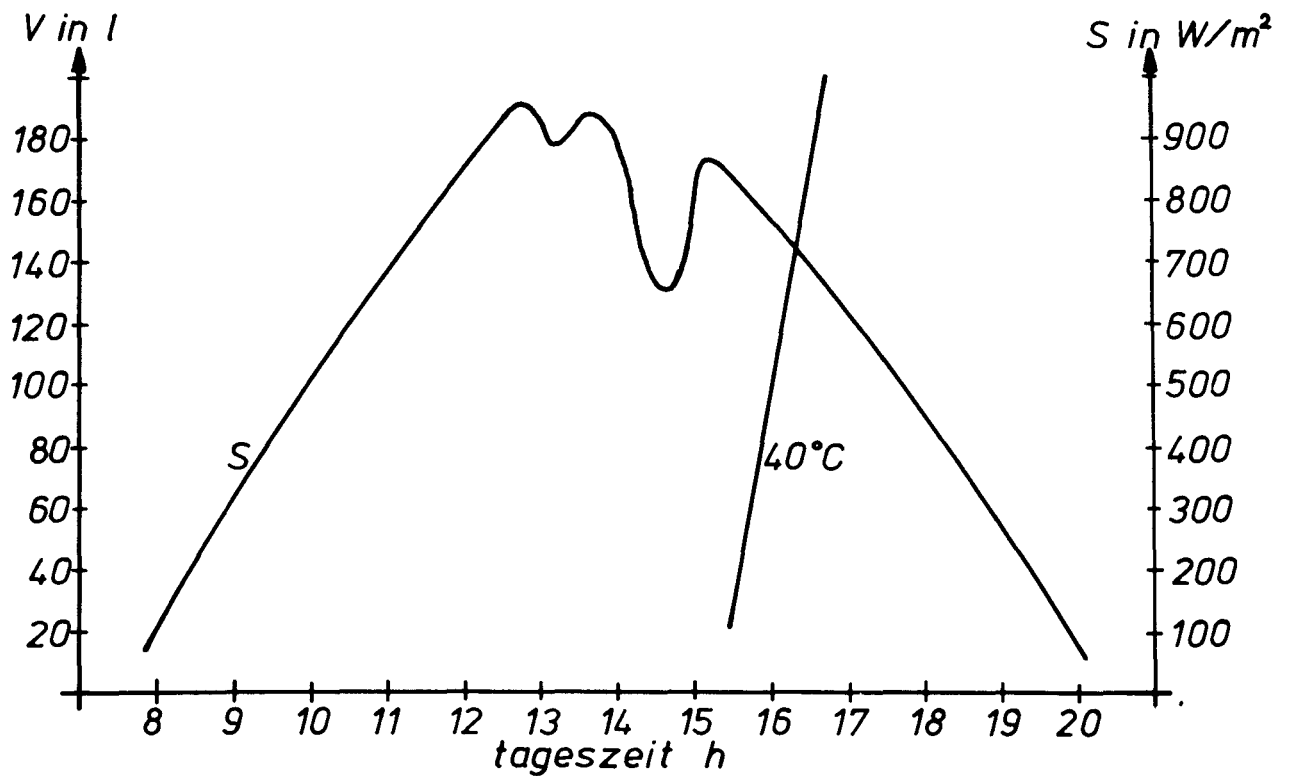


Abb. 4-41: Wassermengen im Tank oberhalb einer bestimmten Temperatur für System C (10.6.82)

an diesem Tag, wobei man allerdings berücksichtigen muß, ob der Energieinhalt im Tank nach 24 h der gleiche ist oder ob eine Energiedifferenz Q_d vorhanden ist.

- 2) Einen Wirkungsgrad über einen längeren Zeitraum aus der gesamten entnommenen Energie und der gesamten eingestrahlt Energie in diesem Zeitraum, wobei die Systeme zu Beginn mit Frischwasser gefüllt werden und am Ende entleert werden, d.h. der Energieinhalt am Anfang und am Ende des betrachteten Zeitraums sollte Null sein.

Den Tageswirkungsgrad nach 1) kann man aus den angegebenen Werten vom 14.7.82 (Kap. 4.5.1) bestimmen, welche in Tab. 4.5.3 zusammengefaßt sind.

Parameter	Einheit	System MB	System C
$Q_a = A_c \int_0^{24} S dt$	kWh	8,7	10,15
Q_e	kWh	3,8	4,45
$T_m(24h) - T_m(0h)$	°C	-3,2	-2
$Q_d = M c_p \cdot [T_m(24) - T_m(0)]$	kWh	-0,41	-0,46

Tab. 4.5.3: Die zur Berechnung des Systemwirkungsgrads mit Entnahme η_e benötigten Werte (vom 14.7.82)

Für den Tageswirkungsgrad mit Entnahme gilt

$$\eta_e = \frac{Q_e + Q_d}{Q_a} \quad (4-26)$$

Mit den Werten aus Tab. 4.5.3 ergibt sich:

$$\begin{aligned} \eta_{eMB} &= 39 \% \quad \text{für System MB} \\ \text{und } \eta_{eC} &= 39,3 \% \quad \text{für System C.} \end{aligned}$$

Diese Werte des Wirkungsgrades sind etwa gleich denen des Systemwirkungsgrades ohne Entnahme (vgl. Kap. 4.4.1), beim System C sogar etwas kleiner, obwohl sie eigentlich größer sein müßten. Dafür gibt es 2 Gründe:

- a) Die Speisewassertemperatur ist mit 27 °C außergewöhnlich hoch und
- b) Bei Entnahme geht Energie wegen des Wärmeaustauschs mit der Umgebung verloren, so daß die entnommene Energie Q_e kleiner ist als die im Tank enthaltene Q_n .

Beides, sowohl hohe Speisewassertemperatur als auch Energieverluste beim Durchfließen des Brauchwassers durch die Rohrleitungen von der Thermosiphonanlage zum Verbraucher, dürften für Ägypten realistische Bedingungen sein, so daß die oben angegebenen Werte des Wirkungsgrads dort zutreffen dürften.

Noch exaktere Werte für den Wirkungsgrad der Thermosiphonanlagen erhält man, wenn man ihn über einen längeren Zeitraum nach 2) bestimmt, und zwar je länger der betrachtete Zeitraum, desto besser der Wert. In der vorliegenden Arbeit konnte der Wirkungsgrad über 4 Tage (vom 12. - 15.7.82) bestimmt werden. Es ergab sich dabei

$$\begin{aligned} \eta_{eMB \text{ 4 Tage}} &= 42,4 \% \quad \text{für System MB} \\ \text{und } \eta_{eC \text{ 4 Tage}} &= 46,8 \% \quad \text{für System C} \end{aligned}$$

Diese Werte werden im folgenden als die Systemwirkungsgrade angegeben, also

$$\begin{aligned} \eta_{SMB} &= 0,42 \quad \text{für System MB} \\ \text{und } \eta_{SC} &= 0,47 \quad \text{für System C.} \end{aligned}$$

Noch realistischere Werte können nur Langzeitmessungen ergeben, wobei die Anlagen im alltäglichen Einsatz getestet werden müßten.

4.6 Wirtschaftlichkeit - Vergleich mit konventionellen Systemen

Eine Wirtschaftlichkeitsbetrachtung soll an dieser Stelle nur sehr kurz behandelt werden, da sich die in die Berechnung eingehenden Faktoren ständig verändern können. Für Deutschland soll hier keine Wirtschaftlichkeitsbetrachtung durchgeführt werden, weil Thermosiphonanlagen der untersuchten Art in Deutschland sowieso kaum einsetzbar sind, im Winterhalbjahr wegen Frostgefahr (vgl. Kap. 3.1) und im Sommerhalbjahr wegen der unzureichenden Sonnenstrahlung. Während der Messungen kam es z.B. vor, daß selbst nach 6 Tagen ohne Entnahme (12.-17.6.82) die mittleren Tanktemperaturen nur auf 46,7 °C (System MB) bzw. 41,9 °C (System C) gestiegen waren.

Daher soll hier nur eine Wirtschaftlichkeitsbetrachtung für ägyptische Verhältnisse durchgeführt werden.

Da für Thermosiphonanlagen Betriebskosten, wie Brennstoffkosten, Stromkosten für Pumpen usw., entfallen, gehen nur die Investitionskosten I und die Wartungskosten W ein. Für die jährlichen Investitionskosten gilt unter Einbeziehung der Verzinsung nach /30/:

$$I(L) = I_0 \frac{q^L(q-1)}{q^L-1} \quad (4-27)$$

mit $I(L)$	= jährliche Investitionskosten	(DM/a)
I_0	= Anschaffungskosten	(DM)
L	= Anzahl der Jahre	
q	= $1 + z$ = Zinsfaktor	(%/a)
z	= Zinsfuß	(%/a)

Die Wartungskosten W_0 werden üblicherweise als Bruchteil der Anschaffungskosten I_0 angegeben, so daß sich für die jährlichen Wartungskosten ergibt

$$W(L) = w I_o \frac{q^L - 1}{L(q-1)} \quad (4-28)$$

mit $W(L)$ = jährliche Wartungskosten (DM/a)
 w = Wartungsanteil pro Jahr (%/a)

Die jährlichen Energiekosten berechnen sich dann aus Gl.(4-27) und (4-28) wie folgt:

$$K_E(L) = \frac{I(L) + W(L)}{\dot{Q}_N} = \frac{I_o q^L (q-1)}{\dot{Q}_N (q^L - 1)} + \frac{w I_o (q^L - 1)}{\dot{Q}_N L (q-1)} \quad (4-29)$$

mit $K_E(L)$ = jährliche Energiekosten (DM/kWh)
 \dot{Q}_N = Nutzenergie pro Jahr (kWh/a)

Die Nutzenergie pro Jahr kann durch folgende Beziehung bestimmt werden:

$$\dot{Q}_N = A_c \eta_s S_L \quad (4-30)$$

mit η_s = Systemwirkungsgrad (%)
 S_L = mittlere Jahressumme der Globalstrahlung (kWh/m²a)

Als konventionelles Warmwasserbereitungssystem kommt in Ägypten fast ausschließlich der Durchlauferhitzer betrieben mit Butan-gasflaschen in Betracht. Bei einem solchen System kommen zu den Energiekosten noch die jährlichen Betriebskosten für den Brennstoff

$$B(L) = B_o \frac{q^L - 1}{L(q-1)} \quad (4-31)$$

mit $B(L)$ = jährliche Betriebskosten (DM/a)
 B_o = jährliche Brennstoffkosten (DM/a)

hinzu, so daß sich für die jährlichen Energiekosten $K'_E(L)$

ergibt

$$K_E'(L) = K_E(L) + \frac{B_o (q^L - 1)}{\dot{Q}_{NG} L (q - 1)} \quad (4-32)$$

Die thermische Nutzleistung für ein Gassystem kann folgendermaßen bestimmt werden:

$$\dot{Q}_{NG} = H_G M_G \eta_G \quad (4-33)$$

mit H_G = Heizwert des Gases (Butan) (kWh/kg)
 M_G = gesamte benötigte Gasmenge pro Jahr (kg/a)
 η_G = Wirkungsgrad der Gasanlage (%)

Der Energiebedarf einer sechsköpfigen Familie in Ägypten wird mit 2 Gasflaschen à 9 kg pro Monat veranschlagt /34/, wovon ca. 70 % für die Warmwasserbereitung verwendet werden, d.h. die gesamte für die Warmwasserbereitung benötigte Gasmenge pro Jahr beträgt:

$$M_G = 2 \cdot 12 \cdot 9 \cdot 0,7 \text{ kg/a} = 151 \text{ kg/a}$$

Eine Gasflasche à 9 kg kostet 4 Ägyptische Pfund. Da das Gas vom Staat zu über 80 % subventioniert wird, kostet die 9 kg Gasflasche nur 65 Piaster für den Privathaushalt. Damit ergeben sich die jährlich anfallenden Brennstoffkosten für einen 6-Personen-Haushalt zu

$$B_o = 151 \text{ kg/a} \cdot \frac{0,65 \text{ £}}{9 \text{ kg}} = 11 \text{ £/a}$$

Mit dem eigentlichen Preis von $4 \text{ £/9 kg} = 0,44 \text{ £/kg}$ würden die Brennstoffkosten $B_o = 66,4 \text{ £/a}$ betragen.

Der Umrechnungskurs für ägyptische Währung betrug Ende 1982:

$$1 \text{ Ägyptisches Pfund (£)} (= 100 \text{ Piaster (Pi)}) = 2,86 \text{ DM}$$

In Tab. 4.6 sind alle für die Berechnung benötigten Werte zusammengetragen, wobei die Werte in Klammern die Preise in DM angeben.

Parameter	Einheit	System MB	System C	konventionelles System
I_O	£	1000 (2800)	588 (1700)	250 (750) /34/
z	1/a	0,2	0,2	0,2
q	1/a	1,2	1,2	1,2
w	1/a	0,04	0,04	0,04
A_C	m^2	1,5	1,75	
S_L	$kWh/m^2 a$	2000	2000	
η_s		0,42	0,47	0,7
B_O	£ / a	0	0	11 (31)
H_G	kWh/kg			11,7
M_G	kg/a			151
\dot{Q}_N	kWh/a	1260	1645	1237

Tab. 4.6: Die zur Berechnung der Energiekosten benötigten Werte

Die Verzinsung (Zinsfuß) wurde für Ägypten mit 20 % angegeben /34/, der Wartungsanteil w wurde zu 4 %/a angenommen. Die Werte für den mittleren Systemwirkungsgrad wurden Kap. 4.5.3 entnommen und für das konventionelle System mit 0,7 angenommen. Die mittlere Jahressumme der Globalstrahlung wird für Ägypten mit etwa 2000 $kWh/a \cdot m^2$ angegeben /36/. Für Deutschland liegt sie bei etwa 1000 $kWh/a \cdot m^2$, d.h. die Solarstrahlung ist über ein ganzes Jahr betrachtet in Deutschland um einen Faktor 2 kleiner als in Ägypten.

Vergleicht man die Werte von \dot{Q}_N aus Tab. 4.6, dann sieht man, daß von beiden Thermosiphonsystemen scheinbar genügend Energie zur Verfügung gestellt wird, um einen 6-Personen-Haushalt mit warmem Wasser zu versorgen. Bei System C ist sogar ein großer

Überschuß im Vergleich zur konventionell benötigten Energie vorhanden. Dabei muß allerdings berücksichtigt werden, daß von den Thermosiphonanlagen dem Verbraucher nicht zu jeder Zeit die gleiche Menge an Nutzenergie zur Verfügung gestellt wird. Daher muß im Vergleich zum konventionellen System ein Überschuß an Energie vorhanden sein, um den Bedarf jederzeit zu decken.

Die Wirtschaftlichkeitsberechnungen nach Gl. (4-29) und (4-32) wurden mit der vom konventionellen System bereitgestellten Nutzenergie durchgeführt. Mit dieser Energie werden bei einem 6-Personen-Haushalt pro Tag und Kopf 20 l Wasser um 25 °C erwärmt, d.h. bei einer Leitungswassertemperatur von 20 °C stehen jeder Person pro Tag 20 l 45 °C warmes Wasser zur Verfügung. Damit ist der in Kap. 4.5.2 simulierte Verbrauch wesentlich zu hoch angesetzt.

Die Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsberechnungen zeigt Abb. 4-42. Man sieht, daß System C wesentlich günstiger ist als System MB, was zum größten Teil an dem höheren Anschaffungspreis für System MB liegt. Trotzdem können die beiden Solarsysteme nicht mit dem konventionellen System mit Subventionen konkurrieren. Vergleicht man sie jedoch mit dem konventionellen System ohne Subventionen, dann ergibt sich für System MB eine Amortisierung nach 14,5 Jahren, für System C dagegen schon nach 6,5 Jahren.

Man kann mit Sicherheit annehmen, daß sich die zukünftige Preisentwicklung für das konventionelle System zwischen den beiden in Abb. 4-42 gezeigten Kurven bewegt, zum einen wegen der steigenden Energiepreise, zum anderen weil die staatliche Subvention abnehmen wird, was sich schon in jüngster Zeit andeutete. Damit kann man die Thermosiphon-Systeme als eine Alternative zum konventionellen System ansehen, was insbesondere für das billigere System C gilt.

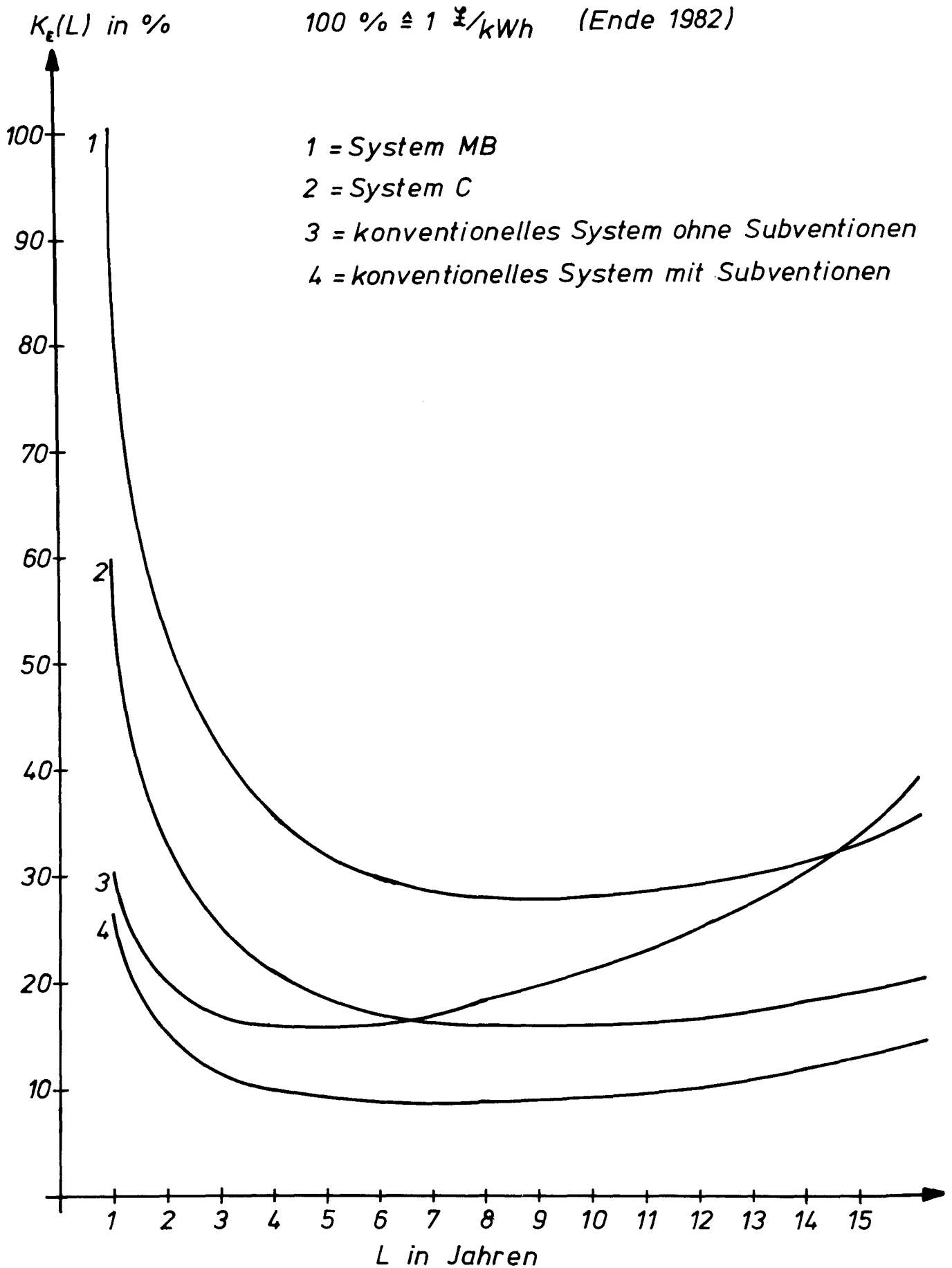


Abb. 4-42: Wirtschaftlichkeitsvergleich der Thermosiphonsysteme mit konventionellem System für Ägypten

5 DISKUSSION UND AUSBLICK

Im Verlaufe der Messungen zeigte sich, daß die Einsatzfähigkeit von Thermosiphonsystemen in Deutschland nicht nur während des Winterhalbjahres fraglich ist. Während vieler Schlechtwetterperioden wurden kaum erwähnenswerte Temperaturerhöhungen gemessen, weil die Solarstrahlung oftmals nicht ausreichte, um den thermosiphonischen Fluß in Gang zu setzen.

Ganz anders ist die Situation in Ägypten, wo die im jährlichen Mittel einfallende Solarstrahlung etwa um den Faktor 2 höher liegt als in Deutschland. Trotzdem können an wolkenlosen Sommertagen die Verhältnisse in Deutschland mit denen in Ägypten verglichen werden. Daher wurden die Meßdaten insbesondere von solchen Tagen zur Auswertung herangezogen. Aus den Ergebnissen resultieren einige Verbesserungsvorschläge für beide Testanlagen, die an dieser Stelle erwähnt werden sollen.

1) System MB

Auffallend bei diesem Thermosiphonsystem ist die ungünstige Installation von Entnahme und Speisewasserzuleitung (vgl. Kap. 3.1.3 und 4.5) Es sollte einfach sein, diesen Mißstand abzuschaffen.

Der äußerst geringe thermosiphonische Fluß hat negative Auswirkungen auf den Kollektor- bzw. Systemwirkungsgrad (vgl. Kap. 4). Daher sollte versucht werden, den Durchfluß in System MB zu erhöhen, ohne die ausgezeichnete Temperaturschichtung im Tank zu zerstören. Dazu gibt es konkret zwei Möglichkeiten:

- a) Man erhöht den Tank relativ zum Kollektor, wodurch der thermosiphonische Effekt verstärkt wird (vgl. Kap. 2.6). Dabei wird auch der ungünstige umgekehrte thermosiphonische Effekt eingeschränkt.

- b) Man verändert die Rohrführung im Kollektor, indem man die Parallelrohre nicht quer zur Hauptrichtung, sondern in Hauptrichtung des thermosiphonischen Flusses legt, also einen Parallelrohrkollektor, etwa wie in System C, einsetzt. Dadurch wird der Rohrreibungswiderstand erheblich vermindert und damit der Durchfluß erhöht.

Aufgrund dieser Maßnahmen dürfte der Wirkungsgrad des Systems MB entscheidend erhöht werden.

2) System C

Bei System C kann mit Sicherheit viel verbessert werden, indem man die Isolierung sowohl des Speichers als auch des Kollektors verbessert (vgl. Kap. 4). Ferner sollte die Wartung erleichtert werden, z.B. das Auswechseln der Kollektorabdeckung und das Reinigen des Systems (vgl. Kap. 3.1).

Betrachtet man die ungewöhnliche Konstruktion von Vor- und Rücklauf (vgl. Kap. 3.1), dann ergibt sich aufgrund der Meßergebnisse direkt kein Nachteil. Allerdings könnte die Temperaturschichtung im Tank wesentlich verbessert werden, wenn man den Vorlauf außerhalb des Speichers nach oben führt.

Aus dem Vergleich Drucksystem (System MB) gegenüber drucklosem System (System C) ergibt sich aus den Messungen weder ein Vorteil für das eine noch für das andere System - beide funktionierten einwandfrei. Zieht man allerdings die Situation in Ägypten in Betracht, wo der Wasserdruck besonders auf Dächern, dem Standort von Thermosiphonanlagen, erfahrungsgemäß unzureichend ist, dann bietet sich eher ein druckloses System an.

6 ZUSAMMENFASSUNG

In der vorliegenden Arbeit wurden zwei unterschiedliche Thermosiphonanlagen getestet, i.e. Solarsysteme zur Brauchwassererwärmung. Die vorgestellten Anlagen sind besonders einfach gehalten. Sie bestehen im wesentlichen aus drei Komponenten:

- a) dem Tank oder Speicher
- b) dem Rohrleitungssystem und
- c) dem Solarkollektor.

Wesentliches Merkmal dieser Systeme ist, daß der Kollektor unterhalb des Speichers liegt. Aufgrund freier Konvektion wird so ein Durchfluß erzeugt (Schwerkraftumlauf), wenn der Kollektor der Solarstrahlung ausgesetzt ist. Es werden also keine Zusatzaggregate, wie z.B. Pumpen, benötigt.

Da die Testanlagen nicht mit einem Wärmetauscher ausgestattet sind, ist ihre Einsatzfähigkeit in Deutschland besonders während des Winterhalbjahres sehr fraglich. Trotzdem konnten durch die Messungen in der KFA Jülich wertvolle Aussagen über das Verhalten der Systeme gemacht werden, da die Meßdaten mit Unterstützung einer Datenerfassungsanlage (MADAS) mit hoher zeitlicher Auflösung aufgenommen und verarbeitet wurden.

Im theoretischen Teil (Kap. 1) wurde ein einfacher Weg aufgezeigt, um die Temperaturen sowie den thermosiphonischen Fluß in einem Thermosiphonsystem vorherzubestimmen, wenn einige system- und ortsspezifische Größen bekannt sind. Dazu gehören die Kollektor- und Speicherkennwerte sowie der Tagesverlauf der Solarstrahlung und der Umgebungstemperatur. Diese Werte konnten mit Hilfe der Meßdaten bestimmt werden, wobei das Kollektormodell von Hottel, Whillier und Bliss erfolgreich angewandt wurde (Kap. 4). Die wichtigsten Ergebnisse sind in Tabelle 6 zusammengestellt. Die Zahlen in Klammern gelten für Doppelglasabdeckung.

Parameter	Einheit	System MB	System C
Kollektor:			
A_C	m^2	1,5	1,75
$\tau\alpha$		0,8(0,69)	0,85
F'		0,7(0,77)	0,82
U_L	W/m^2K	4,5(3,9)	5,3
Speicher:			
M	kg	110	200
A_T	m^2	1,27	1,94
U_T	W/m^2K	1	1,9
\dot{m}	l/h	19	127
η_s		0,42	0,47

Tab. 6: Die wichtigsten Ergebnisse aus den Messungen an den zwei Thermosiphonsystemen

Den Durchfluß \dot{m} kannman folgendermaßen veranschaulichen: Bei einer solaren Einstrahlung von 800 W/m^2 werden in einer Stunde in System MB 19 l Wasser um 26°C und in System C 127 l um $5,8^\circ\text{C}$ erwärmt. Dabei ist der Wirkungsgrad η_s von System C etwas größer, dafür liegen die maximalen Temperaturen niedriger - im Thermosiphonsystem MB wurden maximale Temperaturen bis ca. 65°C erzielt, im System C bis ca. 54°C .

System MB konnte sowohl mit Einzelglas als auch mit Doppelglasabdeckung für den Kollektor betrieben werden. Ein Vergleich ergab nur einen geringen Energie- bzw. Temperaturgewinn von 2,1 % für den Betrieb mit Doppelglas.

Mit den Kollektorwerten - Fläche A_c , Produkt aus Durchlässigkeit und Absorption $\tau\alpha$, Absorberwirkungsgradfaktor F' und mittlerer Wärmeübergangskoeffizient U_L - und den Speicherwerten - Wassermasse M , Tankoberfläche A_T und mittlerer Wärmeübergangskoeffizient U_T - konnten alle Temperaturen, insbesondere die mittlere Tanktemperatur, im System bestimmt werden. Dabei wurden sehr gute Übereinstimmungen mit den Meßwerten erzielt, wobei sich für das Thermosiphonsystem mit dem geringen Durchfluss (System MB) etwas größere Abweichungen ergaben. Dennoch bleibt als Ergebnis der vorliegenden Arbeit festzuhalten: Es wurde ein Weg aufgezeigt, das thermische Verhalten von Thermosiphonanlagen zu bestimmen, ohne allzu komplizierte Messungen durchführen zu müssen.

Eine abschließende, kurze Wirtschaftlichkeitsbetrachtung der beiden Testanlagen für Ägypten zeigte, daß bei der momentanen wirtschaftlichen Situation keine der beiden Anlagen wirtschaftlich ist. Zieht man allerdings einige absehbare Entwicklungen in Betracht, wie z.B. Kostenerhöhung der Primärenergieträger, so ergibt sich für die Zukunft eine gute Perspektive für den Einsatz von Thermosiphonanlagen in Ägypten.

7 NOMENKLATUR

Symbol	Bedeutung	Einheit
A	Fläche	m ²
A _c	Kollektorfläche	m ²
A _T	Tankoberfläche	m ²
a ₁	Koeffizient	°C/s
a ₂	Koeffizient	°C/s
a ₃	Koeffizient	°C/s
B _o	jährliche Brennstoffkosten	DM/a
B (L)	jährliche Betriebskosten	DM/a
c _p	spezifische Wärmekapazität von Wasser	J/kgK
d	lichter Rohrdurchmesser	m
d _T	Durchmesser des Tanks	m
F'	Absorberwirkungsgradfaktor	
g	Erdbeschleunigung	m/s ²
H	Höhe der Wassersäule	m
H _G	Heizwert des Gases	kWh/kg
h	Höhe des Tanks	m
h ₁	Höhe des Kollektors	m
h ₂	Höhe der Tankunterkante	m
h ₃	Höhe zwischen Kollektor und Tankunterkante	m
h ₄	Höhe des Wasseraustritts aus dem Vorlauf in den Tank	m
h ₅	Höhe des Wasserspiegels im Tank	m
h ₆	Höhe der Tankoberkante	m
I _c	Konstantstrom	A
I _o	Anschaffungskosten	DM
I (L)	jährliche Investitionskosten	DM/a
K _E (L)	jährliche Energiekosten	DM/kWh
k	Koeffizient	1/s
k _e	Eichkonstante des Pyranometers	μVm ² /W
l	Rohrlänge	m
l _e	entsprechende Rohrlänge	m
l _g	geometrische Rohrlänge	m

Symbol	Bedeutung	Einheit
l_r	Länge des Rücklaufs	m
l_v	Länge des Vorlaufs	m
l_z	zusätzliche Rohrlänge	m
M	Masse des Wassers im Tank	kg
M_G	gesamte benötigte Gasmenge pro Jahr	kg/a
\dot{m}	thermosiphonischer Fluß	kg/s
p	Koeffizient	1/s
Δp_a	Auftriebsdruck	Pa
Δp_v	Druckverlust	Pa
q	Zinsfaktor	1/a
q_e	gesamte entnommene Energie pro m^2 Kollektorfläche	Ws/ m^2
Q_a	gesamte zugeführte (eingestrahlte) Energie	Ws
\dot{Q}_a	vom Absorber aufgenommene Leistung	W
Q_e	gesamte entnommene Energie	Ws
\dot{Q}_N	Nutzenergie pro Jahr	kWh/a
Q_n	Nutzenergie	Ws
\dot{Q}_{nc}	Nutzleistung des Kollektors	W
\dot{Q}_v	Systemverluste	W
\dot{Q}_{vc}	Kollektorverluste	W
Q_{vT}	Wärmeverlust des Tanks	Ws
\dot{Q}_{vT}	Tankverluste	W
Re	Reynoldszahl	
R_T	temperaturabhängiger Widerstand	
S	senkrecht auf den Kollektor treffende Globalstrahlung	W/ m^2
S_{max}	höchste am Tage vorkommende Einstrahlung (ca. 14 h)	W/ m^2
S_L	mittlere Jahressumme der Globalstrahlung	kWh/ m^2 a
T_a	mittlere Fluidtemperatur im Absorber	$^{\circ}C$
ΔT_c	Temperaturdifferenz im Kollektor	$^{\circ}C$
T_h	Temperatur der Entnahme	$^{\circ}C$
T_i	Kollektoreintrittstemperatur	$^{\circ}C$
T_k	Temperatur des Speisewassers	$^{\circ}C$
T_m	mittlere Tanktemperatur	$^{\circ}C$
ΔT_m	Änderung der Tanktemperatur im betrachteten Zeitraum	$^{\circ}C$
T_o	Kollektoraustrittstemperatur	$^{\circ}C$
T_u	Umgebungstemperatur	$^{\circ}C$

Symbol	Bedeutung	Einheit
T_{uo}	Temperatur zur Zeit $t = 0$	$^{\circ}\text{C}$
T_{ul}	maximal auftretende Tagestemperatur	$^{\circ}\text{C}$
T_1-T_9	Temperaturschichten im Tank	$^{\circ}\text{C}$
t	Zeit	s
U_L	mittlerer Wärmeübergangskoeffizient für den Kollektor	$\text{W/m}^2\text{K}$
U_T	mittlerer Wärmeübergangskoeffizient für den Tank	$\text{W/m}^2\text{K}$
V	Volumen	m^3
\dot{V}	Volumenstrom	m^3/s
v	Strömungsgeschwindigkeit	m/s
v_w	Windgeschwindigkeit	m/s
$W(L)$	jährliche Wartungskosten	DM/a
w	Wartungsanteil	$1/\text{a}$
z	Zinsfuß	$1/\text{a}$
α	Absorptionskoeffizient des Absorbers	
α_T	Temperaturkoeffizient für Pt 100	$1/\text{K}$
β	Volumenausdehnungskoeffizient für Wasser	$1/\text{K}$
β_T	Temperaturkoeffizient für Pt 100	$1/\text{K}^2$
γ	Kollektorneigungswinkel	$^{\circ}$
Δ	Differenz	
δ	Abweichung	
λ	Rohrreibungszahl	
η	dynamische Viskosität	kg/ms
η_c	Kollektorwirkungsgrad	
η_d	Systemwirkungsgrad während der Zeit der Einstrahlung	
η_e	Systemwirkungsgrad mit Entnahme	
η_s	Systemwirkungsgrad	
η_{so}	Systemwirkungsgrad ohne Entnahme	
ω_1	Kreisfrequenz der Solarstrahlung	$1/\text{s}$
ω_2	Kreisfrequenz der Umgebungstemperatur	$1/\text{s}$
ϱ	mittlere Dichte	kg/m^3
$\Delta \varrho$	Dichtegradient	kg/m^3
ϱ_i	Kollektoreintrittsdichte	kg/m^3
ϱ_o	Kollektoraustrittsdichte	kg/m^3
ξ	Widerstandsbeiwert	
τ	Gesamttransmissionskoeffizient der Gasabdeckung des Kollektors	

Indizes:

C für System C

MB für System MB

8 LITERATURVERZEICHNIS

- /1/ Close, D.J.
The Performance of Solar Water Heaters with Natural
Circulation
Solar Energy 6, pp. 33-40, Pergamon Press 1963

- /2/ Gupta, C.L.; Garg, H.P.
System Design in Solar Water Heaters with Natural
Circulation
Solar Energy 12, pp. 163-182, Pergamon Press 1968

- /3/ Chinnery, D.N.W.
Solar water heating in South Africa
CSIR Research Report 248, pp. 1-79, 1971

- /4/ Shitzer, A.; Kalmanoviz, D.; Zwirin, Y.; Grossman, G.
Experiments with a flat plate Solar Water Heating System
in Thermosyphonic Flow
Solar Energy 22, pp. 27-35, Pergamon Press 1979

- /5/ Morrison, G.L.; Ranatunga, D.B.J.
Transient Response of Thermosyphon Solar Collectors
Solar Energy 24, pp. 55-61, Pergamon Press 1980
and: Thermosyphon Circulation in Solar Collectors
Solar Energy 24, pp. 191-198, Pergamon Press 1980

- /6/ Sodha, M.S.; Mwari, G.N.
Analysis of Natural Circulation Solar Water Heating
Systems
Energy Conversion + Management, Vol. 21, pp. 283-288,
Pergamon Press 1981

- /7/ Meinel, A.B.; Meinel, M.P.
Applied Solar Energy
Addison-Wesley Verlag, London 1977

- /8/ Hottel, H.C.; Woertz, B.B.
Performance of Flat-Plate Solar-Heat Collectors
Trans. ASME, Vol. 64, pp. 91-104, 1942

- /9/ Hottel, H.C.; Whillier, A.
Evaluation of Flat-Plate Collector Performance
Trans. of the Conference on the Use of Solar Energy II,
Thermal Processes, pp. 74-104, University of Arizona,
1955

- /10/ Bliss, R.W.
The derivation of several plate efficiency factors
useful in the design of flat-plate solar heat collectors
Solar Energy 3, pp. 54-64, Pergamon Press 1959

- /11/ Duffie, J.A.; Beckman, W.A.
Sonnenenergie - Thermische Prozesse
Udo Pfriemer Verlag, München 1976

- /12/ Uhlemann, R., KFA-STE,
5170 Jülich, persönliche Mitteilung, 1982

- /13/ Fricke, J.; Borst, W.L.
Energie
Oldenbourg Verlag, München 1981

- /14/ Uhlemann, R.; Bansal, N.K.
An experimental study of pressurized and non-pressurized
solar water heating systems with thermosyphonic flow,
KFA-STE, 5170 Jülich, W. Germany (in Vorbereitung)

- /15/ Westhoff, G.
Grundlagen und Praxis der Temperaturmessung und
Temperaturregelung
Vulkan-Verlag Dr. W. Classen, Essen 1965

- /16/ Meßeinsätze für Widerstandsthermometer Pt 100
Informationsblatt der Fa. Rössel Messtechnik GmbH + Co.,
Postfach 320, 4712 Werne, 1981

- /17/ Dünnsfilm-Temperaturmeß-Widerstand DTW-Pt 100
Informationsblatt der Fa. Driesen + Kern, Postfach 1126,
2000 Tangstedt, 1981

- /18/ Weuthen, A.
Eine Beurteilung der Lufttemperaturmessung im
Anwendungsbereich regenerativer Energieanlagen
Dipl.-Arbeit F.H. Aachen, Abt. Jülich, Feb. 1982

- /19/ Eppley Precision Pyranometer, Model PSP
Informationsblatt der Fa. Eppley Laboratory, Inc.,
Newport, USA, Jan. 1980

- /20/ Robinson, N.
Solar Radiation
Amsterdam, London, New York 1966

- /21/ Repschläger, H.
Die Windgeschwindigkeitsmessung bei der Standortbeur-
teilung für Windenergieanlagen
Dipl.-Arbeit F.H. Aachen, Abt. Jülich, Sept. 1981

- /22/ VDE/VDI-Richtlinien, 3511
Technische Temperaturmessungen
VDE/VDI 3511, Fachgruppe Meßtechnik, Düsseldorf,
Feb. 1967

- /23/ Grüter, J.W.
SOLARNET - Ein Datenerfassungs- und Kommunikations-
system für Experimente der Solarenergieanwendung bei
der KFA
KFA-Eigendruck, Jülich, 1981

- /24/ Grüter, J.W.; Ringel, H.
MADAS - Ein Datenerfassungssystem für Experimente der
Solarenergieanwendung bei der KFA
KFA-Eigendruck, Jülich, 1981

- /25/ CAMAC: z.B. ein modulares Instrumentierungssystem in
der Datenverarbeitung
DIN: IEC 519, Apr. 1979

- /26/ Bansal, N.K.; Uhlemann, R.; Boettcher, A.
Plastic Solar Air Heaters of a Novel Design - Testing
and Performance
Jül-Report-1783, ISSN 0366-0885, KFA-Jülich, Apr. 1982

- /27/ MACAMAC - Micro Autonomous Computer Appplied to
Measurement And Control
- Crate Controller: eine auf dem CAMAC aufgebaute
Stromversorgungs- und Datenwegeinheit

- /28/ Brandenburg, G.; Halling, H.; Lech, G.; Ringel, H.
Realtime Basic for MACAMAC (Intel 8080)
KFA-Interner Bericht, ZEL 500177, Jülich, 1977

- /29/ Hewlett Packard Company
Reference Manual - intelligent graphics 2647 A
Gebrauchsanleitung der Fa. Hewlett Packard zum Daten-
sichtgerät vom Typ 2647 A, California, USA, 1979

- /30/ Meliß, M.
Möglichkeiten und Grenzen der Sonnenenergienutzung in
der Bundesrepublik Deutschland mit Hilfe von Nieder-
temperaturkollektoren, Grundlagen - Technische Systeme -
Wirtschaftlichkeit
Jül-Spez-25, KFA-Bericht ISSN 0343-7639, Jülich, 1978

- /31/ Weast, R.C.
Handbook of Chemistry and Physics - A Ready-Reference
Book of Chemical and Physical Data
CRC-Press, Inc., 55. Auflage, Ohio, USA, 1974-75

- /32/ Recknagel - Sprenger
Taschenbuch für Heizung und Klimatechnik
Oldenbourg-Verlag, München 1977-78

- /33/ Marsoner, G.
Berechnungsverfahren zur Solaren Warmwasserbereitung
unter Verwendung eines Schwerkraftumlaufsystems
Sonnenenergie-Ergebnisse von Forschungs- und Entwick-
lungsarbeiten in Österreich, pp. 133-150, ASSA, Wien 1979
- /34/ Camphausen, Ingenieurbüro Camphausen, 5170 Jülich,
persönliche Mitteilung, 1982
- /35/ Schroer, R.
Test und Auswahl von Solaren Warmwasserbereitungsanlagen
für den Einsatz in Ägypten
ITW-Ingenieurberatung Aachen, BBC-Walldorf, Interelectric
Frankfurt, PN 7202-1-030180, Aachen, März 1980
- /36/ Stoy, B.
Wunschenergie Sonne
Energie-Verlag GmbH, Heidelberg, 1980

ANHANG:

A	PROGRAMME	138
I.	Das Testprogramm für die ADCs	138
II.	Die Ergebnisse der Testmessungen für die ADCs	139
III.	Das Thermosiphon-Meßprogramm	140
IV.	Erläuterungen zum Meßprogramm	143
B	MESSDATEN	145
I.	Der Aufbau des Outprints für ein Meßintervall	145
II.	Die Meßdaten vom 10. - 11. Juni 1982	146
III.	Die Meßdaten vom 3. Juni 1982 (System MB mit Doppel- scheibe)	149
IV.	Die Meßdaten vom 2. Juli 1982 (Einschaltvorgang)	150
V.	Die Meßdaten vom 14. Juli 1982 (Verbrauchsprofil 1)	151
VI.	Die Meßdaten vom 15. Juli 1982 (Verbrauchsprofil 2)	155

ANHANG: A PROGRAMME

A I. Das Testprogramm für die ADCs

```

 1 REM TESTPROGRAMM FUER DIE ADC'S
10 CZ
15 DIM A(16)
20 FOR S2=13 TO 17 STEP 2
25 CW 17,S2,0,0
30 FOR I=0 TO 15
35 CR 0,S2,I,A(I+1)
40 NEXT I
45 AND A2,A(16),2048
50 AND A(16),A(16),2047
55 IF A2=0 THEN 65
60 LET A(16)=-A(16)
65 FOR I=1 TO 15
70 AND A2,A(I),2048
75 AND A(I),A(I),2047
80 IF A2=0 THEN 90
85 LET A(I)=-A(I)
90 LET A(I)=A(I)-A(16)
91 REM PRINT S2,I,A(I)
95 NEXT I
100 LET E=178.4/A(15)
101 PRINT
105 FOR I=1,14
110 PRINT S2,I,A(I),
115 LET A(I)=E*A(I)
120 PRINT A(I)
125 NEXT I
130 NEXT S2
132 PRINT
135 GOTO 20
```

A II. Die Ergebnisse der Testmessungen für die ADCs

Position im MADAS	Kanal	counts	Test- spannung	
13.00000	1.000000	1759.000	171.4785	ADC 1
13.00000	2.000000	1759.000	171.4785	
13.00000	3.000000	1759.000	171.4785	
13.00000	4.000000	1759.000	171.4785	
13.00000	5.000000	1759.000	171.4785	
13.00000	6.000000	1760.000	171.5759	
13.00000	7.000000	1760.000	171.5759	
13.00000	8.000000	1760.000	171.5759	
13.00000	9.000000	1759.000	171.4785	
13.00000	10.00000	1759.000	171.4785	
13.00000	11.00000	1759.000	171.4785	
13.00000	12.00000	1759.000	171.4785	
13.00000	13.00000	1760.000	171.5759	
13.00000	14.00000	1760.000	171.5759	
15.00000	1.000000	1756.000	171.4671	ADC 2
15.00000	2.000000	1757.000	171.5647	
15.00000	3.000000	1756.000	171.4671	
15.00000	4.000000	1756.000	171.4671	
15.00000	5.000000	1756.000	171.4671	
15.00000	6.000000	1756.000	171.4671	
15.00000	7.000000	1756.000	171.4671	
15.00000	8.000000	1756.000	171.4671	
15.00000	9.000000	1756.000	171.4671	
15.00000	10.00000	1756.000	171.4671	
15.00000	11.00000	1756.000	171.4671	
15.00000	12.00000	1756.000	171.4671	
15.00000	13.00000	1756.000	171.4671	
15.00000	14.00000	1756.000	171.4671	

A III. Das Thermosiphon-Meßprogramm

```
1 REM THERMOSIPHON MESSPROGRAMM SPAETE 1982
2 CZ
3 LET S1=20
5 LET S4=18
6 LET M7=8.00
7 LET M8=17.00
9 LET M9=1
10 LET F6=0
11 LET H6=1
12 LET K1=255.8841
13 LET K2=-5.80195E-7
15 LET C5=14
17 LET C7=1
18 LET C8=1
20 LET X1=0
21 LET X4=0
22 LET X6=0
23 LET N8=1
24 LET N9=1
26 LET H2=0
27 LET H3=3750
28 LET H4=0
29 LET H5=80
30 DIM A(41),C(30),D(28),E(3750),F(39),O(28),P(28)
32 DIM T(12)
33 LET S1=20
37 CF 26,84,0
38 ONLAW S1 GOTO 25400
39 ONLAW S4 GOTO 6000
40 FOR S2=13 TO 17 STEP 2
41 CW 17,S2,0,0
42 NEXT S2
45 GOSUB 24000
50 GOSUB 24100
55 GOSUB 2000
60 GOSUB 25200
62 LET X7=0
63 LET X8=0
65 PRINT "START: ",T1,T2,T3," UHRZEIT: ",I7
67 LET B2=INT(I7)+1
73 LET B1=0
74 LET E1=0
120 FOR N1=0 TO 41
130 LET A(N1)=0
140 NEXT N1
145 LET C1=0
150 LET E1=0
153 GOSUB 25100
170 REM BERECHNUNG DER ROHWERTE
200 ON B1 GOSUB 8000
208 GOSUB 3200
225 FOR N1=1,12
230 LET D(N1)=K1*(C(N1)/(100*P(N1))-1)
232 LET D(N1)=D(N1)/(1+K2*K1*D(N1))
235 NEXT N1
240 FOR N1=13,14
245 LET D(N1)=O(N1)+P(N1)*C(N1)
250 NEXT N1
255 FOR N1=15,28
260 LET D(N1)=K1*(C(N1)/(100*P(N1))-1)
265 LET D(N1)=D(N1)/(1+K2*K1*D(N1))
270 NEXT N1
310 GOSUB 3300
320 IF E1=0 THEN 170
325 GOSUB 4000
330 GOTO 170
2000 PRINT "DATUM UND UHRZEIT(JJ,MM,TT,HH.MM)";
2005 INPUT T1,T2,T3,Z
2006 IF Z=0 THEN 2010
2007 GOSUB 25000
2010 PRINT
2015 PRINT "MESSINTERVALL";
2020 INPUT M3
2025 PRINT
2030 GOSUB 25100
2032 LET X7=0
2033 LET X8=0
2040 RETURN
3200 REM ABFRAGESCHLEIFE
3202 LET K4=0
3204 FOR S2=13,15 STEP 2
3208 FOR W5=0 TO 15
3210 CR 0,S2,W5,C(W5+1+K4*C5)
3215 NEXT W5
3220 AND A2,C(16+K4*C5),2048
3225 AND C(16+K4*C5),C(16+K4*C5),2047
3230 IF A2=0 THEN 3255
3250 LET C(16+K4*C5)=-C(16+K4*C5)
3255 FOR W5=1+K4*C5 TO 15+K4*C5
3260 AND A2,C(W5),2048
3265 AND C(W5),C(W5),2047
3270 IF A2=0 THEN 3280
3275 LET C(W5)=-C(W5)
3280 LET C(W5)=C(W5)-C(16+K4*C5)
3283 NEXT W5
3286 LET E=178.45/C(15+K4*C5)
3289 FOR W5=1+K4*C5,14+K4*C5
3292 LET C(W5)=E*C(W5)
3295 NEXT W5
3297 LET K4=K4+1
3298 NEXT S2
3299 RETURN
3300 REM MITTELWERT BILDEN
3310 LET C1=C1+1
3315 LET D1=(C1-1)/C1
3320 FOR N1=1 TO 28
3325 LET A(N1)=A(N1)*D1+D(N1)/C1
3330 NEXT N1
3400 RETURN
```

```
4000 REM OUTPUT
4005 IF X4=0 THEN 4020
4010 LET X4=0
4015 GOTO 4490
4020 GOSUB 25200
4025 FOR N4=28,1 STEP -1
4030 LET A(N4+2)=INT(A(N4)/F(N4)+0.5)*F(N4)
4035 NEXT N4
4040 LET A(1)=INT(I7)+INT(INT((I7-INT(I7))*100)*1.67)*0.01
4045 LET A(2)=T2+0.01*T3
4050 GOSUB 7000
4055 REM ZUSAEZTLICHE BERECHNUNGEN
4056 REM SYSTEM MB
4060 LET A(31)=A(6)-A(5)
4065 FOR N1=7,13
4070 LET A(32)=A(32)+A(N1)
4075 NEXT N1
4080 LET A(32)=A(32)/7
4085 LET A(33)=A(32)-X7
4090 LET A(34)=A(32)-A(14)
4129 REM SYSTEM C
4130 LET A(38)=A(20)-A(19)
4135 FOR N1=21,29
4140 LET A(39)=A(39)+A(N1)
4145 NEXT N1
4150 LET A(39)=A(39)/9
4155 LET A(40)=A(39)-XB
4160 LET A(41)=A(39)-A(14)
4200 FOR N1=39,29 STEP -1
4205 LET A(N1+2)=INT(A(N1+2)/F(N1)+0.5)*F(N1)
4210 NEXT N1
4215 CF 24,S4,0
4220 PRINT A(1),TAB(6);A(2);TAB(12);
4225 FOR X1=0,2
4230 FOR N1=3,11
4235 PRINT " ";A(N1+9*X1);TAB(12+(N1-2)*6);
4240 NEXT N1
4250 PRINT
4405 PRINT TAB(12);
4410 NEXT X1
4411 FOR N1=4,7
4412 PRINT " ";A(N1+9*X1);TAB(12+(N1-3)*6);
4413 NEXT N1
4414 PRINT
4415 PRINT TAB(12);
4419 FOR N1=3,6
4420 PRINT " ";A(N1+35);TAB(12+(N1-2)*6);
4421 NEXT N1
4430 PRINT
4480 CF 26,S4,0
4490 LET E1=0
4495 LET X7=A(32)
4498 LET X8=A(39)
4500 FOR N1=1,41
4505 LET A(N1)=0
4510 NEXT N1
4525 LET C1=0
4530 RETURN
6000 CR 0,S4,0,B1
6020 CF 10,S4,0
6040 DISMISS
7000 REM SPEICHERN
7500 FOR F2=1 TO 30
7510 LET E(N9)=A(F2)
7520 LET N9=N9+1
7530 NEXT F2
7540 IF N9<=H3 THEN 7580
7550 LET N9=1
7580 RETURN
8000 REM ABFRAGESCHLEIFE SPEICHER
8015 LET H2=N9
8020 FOR F2=1 TO 30
8025 LET A(F2)=E(N9)
8030 LET N9=N9+1
8035 NEXT F2
8038 IF A(2)<>0 THEN 8043
8039 LET N9=1
8040 GOTO 8020
8043 IF N9<=H3 THEN 8050
8045 LET N9=1
8050 IF A(1)<=H7 THEN 8110
8055 LET B5=1
8060 IF A(1)<=H8 THEN 8070
8065 LET B5=2
8070 ON B5 GOSUB 8500,8600
8110 GOSUB 4060
8140 IF B1=1 THEN 8155
8145 PRINT "AUSLESEN DES SPEICHERS ABGEBROCHEN"
8150 LET N9=H2
8155 IF H2<>N9 THEN 8020
8160 PRINT
8165 PRINT "DAS AUSLESEN DES SPEICHERS IST BEENDET"
8170 PRINT
8180 LET B1=0
8185 LET X4=1
8188 LET C7=1
8190 LET C8=1
8195 RETURN
8500 IF C7<>1 THEN 8560
8510 PRINT "FUER AUSLESEEINHEIT BELIEBIGE ZAHL EINGEBEN"
8520 INPUT X3
8530 PRINT
8540 LET C7=0
8550 LET C8=1
8560 RETURN
8600 IF C8<>1 THEN 8660
8610 PRINT "FUER AUSLESEEINHEIT BELIEBIGE ZAHL EINGEBEN"
8620 INPUT X4
8630 PRINT
8640 LET C8=0
8650 LET C7=1
8660 RETURN
```

```
24000 DATA 31,28,31,30,31,30,31,31,30,31,30,31
24020 FOR N4=1 TO 12
24030 READ T(N4)
24040 NEXT N4
24050 RETURN
24100 DATA 1,1,1,1,1,1,1,1,1,1,1,1
24110 DATA 0,102.88,0.639,0.0268
24120 DATA 1,1,1,1,1,1,1,1,1,1,1,1
24130 DATA 0.1,0.1,0.1,0.1,0.1,0.1,0.1,0.1,0.1,0.1,0.1,0.1
24135 DATA 0.1,0.1,0.1,0.1,0.1,0.1,0.1,0.1,0.1,0.1,0.1,0.1
24140 DATA 0.1,0.1,0.1,0.1,0.1,0.1,0.1,0.1,0.1,0.1,0.1,0.1
24150 FOR N1=1,12
24155 READ P(N1)
24160 NEXT N1
24170 FOR N1=13,14
24175 READ O(N1),P(N1)
24180 NEXT N1
24190 FOR N1=15 TO 28
24195 READ P(N1)
24200 NEXT N1
24210 FOR N1=1,39
24215 READ F(N1)
24220 NEXT N1
24300 RETURN
25000 LET Z1=INT(Z/10+0.03)
25020 LET Z2=INT(Z-Z1*10+0.04)
25030 LET Z3=INT(Z*10-Z1*100-Z2*10+0.05)
25040 LET Z4=INT(Z*100-Z1*1000-Z2*100-Z3*10+0.5)
25050 LET Z5=INT(Z4+Z3*16+Z2*256+Z1*4096+0.5)
25060 CDX
25070 CW 16,S1,0,Z5
25080 CEX
25090 RETURN
25100 LET M1=M3+1.5
25120 LET M2=M3
25130 CDX
25140 CW 16,S1,1,M1
25150 CF 25,S1,0
25160 CW 17,S1,0,89
25170 CW 16,S1,1,M2
25180 CEX
25190 RETURN
25200 CDX
25220 CR 0,S1,0,I1
25230 CR 0,S1,1,I2
25240 CEX
25250 AND I3,I1,15728640
25260 LET I3=INT(I3/1048576+0.5)
25270 AND I4,I2,15
25280 LET I4=INT(I4+0.5)
25290 AND I5,I2,240
25300 LET I5=INT(I5/16+0.5)
25310 AND I6,I2,768
25320 LET I6=INT(I6/256+0.5)
25330 AND I8,I1,983040
25340 LET I8=INT(I8/65536+0.5)
25350 AND I9,I1,61440
25360 LET I9=INT(I9/4096+0.5)
25370 LET I7=I6*10+I5+I4*0.1+I3*0.01+I8*0.001+I9*0.0001
25375 LET I1=100*I7
25380 RETURN
25400 CDX
25420 FOR Q1=0 TO 2
25430 CF 8,S1,Q1,+1,25460
25440 NEXT Q1
25450 GOTO 25720
25450 GOTO 25720
25460 ON Q1+1 GOTO 25470,25520,25560
25470 LET E1=M9
25480 CF 10,S1,0
25490 IF E1<2 THEN 25440
25500 CW 17,S1,0,170
25510 GOTO 25440
25520 CF 10,S1,1
25530 CW 17,S1,0,170
25540 LET E1=1
25550 GOTO 25440
25560 CF 10,S1,2
25565 LET F6=1
25570 LET T3=T3+1
25580 IF T3>T(T2) THEN 25600
25590 GOTO 25700
25600 LET T2=T2+1
25610 LET T3=1
25620 IF T2<=12 THEN 25700
25650 LET T1=T1+1
25660 LET T2=1
25700 GOTO 25440
25710 LET E1=M9
25720 CEX
25730 DISMISS
```

A IV. Erläuterungen zum Meßprogramm

An dieser Stelle sollen einige Erläuterungen zu dem unter Punkt III abgedruckten Meßprogramm gegeben werden.

a) Aufbau des Meßprogramms

<u>Zeilennummer</u>	<u>Kommentar</u>
1 - 169	Definitionen, Dimensionierungen und Verzweigungen
170 - 1999	Berechnung der Rohwerte
2000 - 2999	Eingabedaten (Benutzer, Datum, Uhrzeit, Länge des Meßintervalls)
3000 - 3299	Abfrage der von den ADCs digitalisierten Meßspannungen
3300 - 3999	Mittelwertbildung (iterativ)
3400 - 6999	Output - zusätzliche Berechnungen, Angabe der Genauigkeit, Printanweisungen
7000 - 7999	Abspeichern der Meßdaten
8000 - 23999	Auslesen des Speichers
24000 - 24499	Data-Anweisungen
25000 - 65535	Zeitsteuerung des Programmablaufs

b) Beschreibung der verwendeten Felder (DIM)

A-Feld: ausgedruckte Daten
C-Feld: Meßspannungen
D-Feld: Rohwerte (Temperaturen)
E-Feld: Speicher
F-Feld: Genauigkeit
O-Feld: Konstanten
P-Feld: Konstanten (z.B. Eichfaktor des Pyranometers)

c) Ablauf des Meßprogramms

Die von den ADCs digitalisierten Meßspannungen werden im Programm zunächst abgefragt und mit einer konstanten Referenzspannung von 178,45 mV (Kanal 15 des ADC) verglichen (Abfrageschleife Zeile 3000 - 3299). Es werden also die Impulse in eine Spannung umgerechnet. Diese Meßspannungen werden dem C-Feld zugeordnet. Daraus werden nach Gl. (3-8) die Temperaturen berechnet, welche dem D-Feld zugeordnet werden (Berechnung der Rohwerte Zeile 170-1999). Jeder neue Wert wird mit den vorhergegangenen Werten zu einer iterativen Mittelwertbildung herangezogen (Zeile 3300 - 3999), was ebenfalls im D-Feld geschieht. Ist das Meßintervall abgelaufen, müssen die Daten ausgedruckt werden. Dazu werden sie vom D-Feld in das A-Feld transferiert, wo nun auch Datum und Uhrzeit hinzukommen sowie die Genauigkeitsberechnungen. Damit sind die Meßdaten fertig für den Outprint. In dieser Form (30 Daten pro Meßintervall) werden sie abgespeichert im E-Feld (Zeile 7000 - 7999). Nun werden die zusätzlichen Berechnungen durchgeführt. Dann erst werden alle Meßdaten in der bekannten Form ausgedruckt (Zeile 3400 - 6999).

Mit einer manuellen Eingabe kann man das Programm veranlassen, den Speicher zu jeder beliebigen Zeit auszulesen (Zeile 8000 - 23999), wobei das eigentliche Meßprogramm allerdings unterbrochen wird, d.h. es gehen die Meßdaten in der Zeit, während der der Speicher ausgelesen wird, verloren. Daher sollte man den Speicher nicht zu oft auslesen. In der vorliegenden Arbeit wurde größtenteils so verfahren, daß die ausgedruckten Meßdaten direkt auf Magnetbandkassette überspielt wurden, so daß die Speicher des MADAS überflüssig wurde.

In den Data-Anweisungen (Zeile 24000 - 24499) wurden das F-Feld, das O-Feld und das P-Feld definiert. Dadurch konnten diese Werte schnell und leicht abgerufen werden, ohne einen zu großen Platz zu verbrauchen.

ANHANG B: MESSDATEN

B I. Der Aufbau des Outprints für ein Meßintervall

tageszeit in Dezimalschreibweise (13.25 = 13,15 Uhr)

Datum (tag.monat)										
13.25	6.100	15.5	50.1	16.0	50.6	15.6	16.0	23.5	36.1	42.3
		46.4	50.0	20.6	889.	1.10	26.2	21.3	26.9	33.9
		28.0	28.3	29.5	29.6	30.0	30.5	31.4	32.0	32.5
		34.6	32.8	2.80	12.2					
		7.00	30.2	2.20	9.60					

t	d.m	TkMB	ThMB	TiMB	ToMB	T1MB	T2MB	T3MB	T4MB	T5MB
		T6MB	T7MB	Tu	S	vw	TkC	ThC	TiC	ToC
		T1C	T2C	T3C	T4C	T5C	T6C	T7C	T8C	T9C
System MB:		ΔT_c	T_m	ΔT_m	$(T_m - T_u)$					
System C :		ΔT_c	T_m	ΔT_m	$(T_m - T_u)$					

T_k	=	Temperatur des Speisewassers	(°C)
T_h	=	Temperatur der Brauchwasserentnahme	(°C)
T_i	=	Kollektoreintrittstemp.	(°C)
T_o	=	Kollektoraustrittstemp.	(°C)
$T_1 - T_9$	=	Temperaturen in versch. Höhen im Tank	(°C)
T_u	=	Umgebungstemperatur	(°C)
S	=	Solarstrahlung	(W/m²)
v_w	=	Windgeschwindigkeit	(m/s)
$\Delta T_c = T_o - T_i$	=	Temperaturdifferenz im Kollektor	(°C)
$T_m = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n T_i$	=	mittlere Tanktemperatur aus Mittelung der Temperaturen im Tank $T_1 - T_9$	(°C)
ΔT_m	=	Veränderung der Tanktemperatur im Meßintervall	(°C)
$T_m - T_u$	=	Differenz aus mittl. Tanktemperatur und Umgebungstemperatur	(°C)

B II. Die Meßdaten vom 10. - 11. Juni 1982

.2500	6.100	15.2	14.3	13.8	13.5	15.1	14.9	15.1	15.1	14.6
		14.6	14.9	13.8	0.00	.400	14.1	15.1	13.6	15.1
		15.1	15.0	15.7	15.4	15.2	15.2	15.4	15.4	15.6
		-.300	14.9	0.00	1.10					
		1.50	15.3	0.00	1.50					
.7500	6.100	14.8	13.9	13.1	12.8	15.1	14.9	15.1	15.1	14.6
		14.6	14.9	13.6	0.00	.600	13.7	14.6	13.1	14.9
		15.1	14.9	15.7	15.4	15.2	15.2	15.4	15.4	15.6
		-.300	14.9	0.00	1.30					
		1.80	15.3	0.00	1.70					
1.250	6.100	14.4	13.4	12.4	12.2	15.1	14.9	15.1	15.1	14.6
		14.6	14.8	13.6	0.00	0.70	13.2	14.2	12.8	14.6
		15.1	14.9	15.7	15.4	15.2	15.2	15.4	15.4	15.6
		-.200	14.9	0.00	1.30					
		1.80	15.3	0.00	1.80					
1.750	6.100	14.0	13.1	12.1	11.8	15.1	14.9	15.1	15.1	14.6
		14.6	14.7	13.3	0.00	0.90	12.8	13.8	12.5	14.2
		15.1	14.9	15.7	15.4	15.2	15.2	15.4	15.4	15.6
		-.300	14.9	0.00	1.60					
		1.70	15.3	0.00	2.00					
2.250	6.100	13.8	12.9	11.8	11.5	14.9	14.9	15.1	15.1	14.6
		14.6	14.6	13.0	0.00	1.00	12.5	13.4	12.2	13.9
		15.0	14.9	15.6	15.3	15.2	15.2	15.4	15.4	15.5
		-.300	14.8	0.00	1.80					
		1.70	15.3	0.00	2.30					
2.750	6.100	13.5	12.6	11.4	11.2	14.9	14.9	15.1	15.1	14.6
		14.6	14.7	12.5	1.00	0.70	12.2	13.0	11.9	13.5
		14.9	14.9	15.5	15.2	15.1	15.1	15.3	15.4	15.4
		-.200	14.8	0.00	2.30					
		1.60	15.2	0.00	2.70					
3.250	6.100	13.4	12.6	11.4	11.1	14.9	14.9	15.1	15.1	14.6
		14.6	14.6	11.3	-.200	0.50	12.0	12.8	11.7	13.1
		14.9	14.8	15.4	15.2	15.0	15.0	15.2	15.3	15.4
		-.300	14.8	0.00	3.50					
		1.40	15.1	0.00	3.80					
3.750	6.100	13.0	12.2	10.9	10.6	14.9	14.8	15.1	15.1	14.6
		14.6	14.6	11.0	0.00	0.50	11.6	12.4	11.4	12.7
		14.9	14.8	15.4	15.2	15.0	14.9	15.2	15.3	15.4
		-.300	14.8	0.00	3.80					
		1.30	15.1	0.00	4.10					
4.250	6.100	12.5	11.7	10.2	10.0	14.8	14.8	15.1	15.1	14.6
		14.6	14.6	10.8	0.00	.700	11.1	11.8	10.9	12.3
		14.9	14.8	15.4	15.2	14.9	14.9	15.2	15.2	15.3
		-.200	14.8	0.00	4.00					
		1.40	15.1	0.00	4.30					
4.750	6.100	12.2	11.3	9.70	9.50	14.7	14.7	15.1	15.1	14.6
		14.6	14.6	10.4	0.00	.800	10.5	11.3	10.5	11.9
		14.8	14.7	15.4	15.2	14.9	14.9	15.2	15.2	15.2
		-.200	14.8	0.00	4.40					
		1.40	15.1	0.00	4.70					
5.250	6.100	11.9	11.0	9.30	9.00	14.6	14.6	15.0	15.1	14.6
		14.6	14.6	10.1	0.00	.700	10.0	10.9	10.1	11.5
		14.7	14.7	15.4	15.1	14.9	14.9	15.2	15.2	15.2
		-.300	14.7	0.00	4.60					
		1.40	15.0	0.00	4.90					
5.750	6.100	11.6	10.8	9.00	8.80	14.6	14.6	14.9	15.1	14.6
		14.6	14.6	10.3	0.50	.700	9.70	10.5	9.80	11.0
		14.7	14.7	15.3	15.0	14.9	14.8	15.1	15.1	15.2
		-.200	14.7	0.00	4.40					
		1.20	15.0	0.00	4.70					
6.250	6.100	11.4	10.6	8.90	8.60	14.5	14.6	14.9	15.1	14.6
		14.6	14.6	10.3	20.0	.400	9.40	10.2	9.60	10.5
		14.7	14.7	15.2	15.0	14.9	14.7	15.1	15.1	15.2
		-.300	14.7	0.00	4.40					
		900	15.0	0.00	4.70					
6.750	6.100	11.4	10.7	9.19	9.00	14.4	14.6	14.9	15.0	14.6
		14.6	14.6	11.0	32.4	.300	9.10	10.1	9.60	10.0
		14.7	14.7	15.2	14.9	14.7	14.7	15.0	15.0	15.2
		-.200	14.7	0.00	3.70					
		.400	14.9	0.00	3.90					
7.250	6.100	11.6	11.1	10.0	9.90	14.4	14.6	14.9	15.0	14.6
		14.6	14.6	11.8	57.3	.200	9.40	10.1	10.0	9.80
		14.6	14.7	15.2	14.9	14.7	14.7	15.0	15.0	15.1
		-.100	14.7	0.00	2.90					
		-.200	14.9	0.00	3.10					
7.750	6.100	12.0	12.0	11.4	11.5	14.4	14.6	14.9	15.0	14.6
		14.6	14.6	12.9	83.1	.300	9.80	10.3	11.1	10.3
		14.6	14.7	15.2	14.9	14.8	14.7	15.0	15.0	15.2
		-.100	14.7	0.00	1.80					
		-.800	14.9	0.00	2.00					
8.250	6.100	12.6	13.9	13.4	14.4	14.4	14.6	14.9	15.0	14.6
		14.6	14.8	14.0	144.	.400	10.6	10.8	13.4	14.7
		14.7	14.7	15.3	15.0	14.9	14.8	15.1	15.2	15.3
		1.00	14.7	0.00	0.70					
		1.30	15.0	0.00	1.00					
8.750	6.100	14.0	16.2	16.5	19.0	14.4	14.6	14.9	15.0	14.6
		14.6	14.9	14.8	242.	.500	12.2	11.5	14.5	17.7
		14.9	14.8	15.4	15.1	15.0	15.0	15.3	15.5	15.8
		2.50	14.7	0.00	-0.10					
		3.20	15.2	0.00	0.40					
9.250	6.100	15.2	25.1	17.6	29.3	14.4	14.6	14.9	15.1	14.6
		14.6	22.4	15.7	339.	0.60	14.5	12.3	15.1	19.4
		15.1	14.9	15.6	15.4	15.3	15.5	16.1	16.7	17.5
		11.7	15.8	1.10	0.10					
		4.30	15.8	0.00	0.10					
9.750	6.100	14.8	14.1	15.1	34.5	14.5	14.6	15.0	15.1	14.6
		14.9	33.9	16.5	444.	0.80	17.0	13.3	15.4	20.8
		15.3	15.3	16.1	16.0	16.2	16.9	18.0	18.7	19.4
		19.4	17.5	1.70	1.00					
		5.40	16.9	1.10	0.40					
10.25	6.100	14.9	37.3	15.3	37.8	14.7	14.8	15.1	15.1	14.7
		19.9	36.9	17.3	547.	1.10	19.5	14.4	15.8	22.1
		15.9	16.1	17.3	17.7	18.3	19.0	19.9	20.4	20.9
		22.5	18.7	1.20	1.40					
		6.30	18.4	1.50	0.90					
10.75	6.100	15.1	40.2	15.4	40.6	14.9	14.9	15.1	15.2	15.4
		29.4	39.8	18.0	638.	1.10	21.6	15.4	16.6	23.5
		17.5	18.1	19.5	19.8	20.2	20.6	21.4	21.8	22.3
		25.2	20.7	2.00	2.70					
		6.90	20.1	1.70	2.10					
11.25	6.100	15.1	42.5	15.5	42.9	15.1	14.9	15.2	15.4	20.0
		35.7	42.3	18.8	710.	1.10	23.0	16.3	18.5	25.4
		19.7	20.1	21.3	21.4	21.7	22.1	22.8	23.4	24.0
		27.4	22.7	2.00	3.90					
		6.90	21.8	1.70	3.00					

11.75 6.100	15.1	44.8	15.6	45.4	15.1	15.0	15.4	16.7	28.3
	39.4	44.6	19.2	805.	1.20	23.9	17.4	20.6	27.7
	21.4	21.7	22.9	23.0	23.4	23.9	24.8	25.5	26.1
	29.8	24.9	2.20	5.70					
12.25 6.100	7.10	23.6	1.80	4.40					
	15.2	47.3	15.6	47.7	15.3	15.1	15.6	22.0	35.2
	42.2	47.0	19.6	821.	1.20	25.0	18.7	22.4	29.6
	23.2	23.6	25.0	25.3	25.8	26.3	27.2	27.8	28.4
12.75 6.100	32.1	27.5	2.60	7.90					
	7.20	25.8	2.20	6.20					
	15.4	48.0	15.9	48.8	15.4	15.3	17.7	29.6	39.2
	44.7	48.3	20.1	958.	1.20	25.6	19.8	24.4	31.6
13.25 6.100	25.5	26.0	27.3	27.6	28.0	28.4	29.1	29.6	30.1
	32.9	30.0	2.50	9.90					
	7.20	28.0	2.20	7.90					
	15.5	50.1	16.0	50.6	15.6	16.0	23.5	36.1	42.3
13.73 6.100	46.4	50.0	20.6	889.	1.10	26.2	21.3	26.9	33.9
	28.0	28.3	29.5	29.6	30.0	30.5	31.4	32.0	32.5
	34.6	32.8	2.80	12.2					
	7.00	30.2	2.20	9.60					
14.25 6.100	16.0	51.4	16.5	52.0	15.8	18.7	30.4	40.1	44.6
	48.5	51.3	20.8	932.	1.10	26.5	22.8	29.1	35.9
	30.0	30.4	31.7	32.1	32.4	32.8	33.6	34.1	34.7
	35.5	35.6	2.80	14.8					
14.75 6.100	6.80	32.4	2.20	11.6					
	17.7	50.1	18.1	50.8	16.1	23.7	35.7	42.8	46.4
	49.7	50.7	21.1	822.	1.10	26.8	24.4	31.3	37.1
	32.4	32.7	33.8	34.1	34.5	34.9	35.5	35.8	36.2
15.25 6.100	32.7	37.9	2.30	16.8					
	5.80	34.4	2.00	13.3					
	21.4	51.3	21.3	51.4	17.1	29.5	39.5	44.9	48.0
	50.0	51.9	21.5	655.	1.00	26.9	25.7	33.3	38.6
15.75 6.100	34.4	34.7	35.7	35.7	35.9	36.2	37.0	37.5	38.0
	30.1	40.1	2.20	18.6					
	5.30	36.1	1.70	14.6					
	25.6	52.8	25.4	54.1	18.9	34.0	42.0	46.5	49.0
16.25 6.100	50.5	53.3	22.0	861.	1.00	26.5	26.5	35.1	40.6
	35.7	35.9	37.0	37.2	37.5	37.7	38.3	38.8	39.2
	28.7	42.0	1.90	20.0					
	5.50	37.5	1.40	15.5					
16.75 6.100	30.7	55.8	30.3	56.7	21.6	38.3	44.4	48.3	49.7
	51.3	55.6	22.2	809.	1.20	26.2	27.6	36.6	42.0
	37.4	37.5	38.5	38.8	39.1	39.5	40.2	40.6	40.9
	26.4	44.2	2.20	22.0					
17.25 6.100	5.40	39.2	1.70	17.0					
	35.3	57.4	34.8	58.2	25.1	41.6	46.4	49.5	50.3
	53.5	57.1	22.5	738.	1.40	26.1	28.8	38.1	43.2
	39.0	39.3	40.4	40.6	40.8	41.0	41.6	42.0	42.3
17.75 6.100	23.4	46.2	2.00	23.7					
	5.10	40.8	1.60	18.3					
	38.7	57.6	38.1	58.5	28.7	44.0	48.0	50.2	51.4
	55.4	57.4	22.5	651.	1.40	25.9	29.5	39.6	44.0
18.25 6.100	40.3	40.4	41.5	41.6	41.8	41.9	42.5	42.8	43.0
	20.4	47.9	1.70	25.4					
	4.40	41.8	1.00	19.3					
	41.1	57.1	40.4	58.0	32.0	45.8	49.1	50.9	53.0
18.75 6.100	56.6	56.9	22.6	562.	1.40	25.7	29.7	40.6	44.4
	41.4	41.4	42.4	42.4	42.6	42.7	43.3	43.5	43.7
	17.6	49.2	1.30	26.6					
	3.80	42.6	.800	20.0					
19.25 6.100	42.8	55.7	42.1	56.9	34.7	47.0	49.7	51.6	54.4
	56.4	56.2	22.6	464.	1.30	25.7	30.0	41.6	44.6
	42.2	42.2	43.2	43.2	43.3	43.3	43.8	44.0	44.1
	14.8	50.0	.800	27.0					
19.75 6.100	3.00	43.3	.700	20.3					
	43.8	53.3	42.7	54.9	36.9	47.8	50.1	52.4	55.5
	55.9	55.1	22.6	364.	1.10	26.1	30.6	42.4	44.6
	43.1	43.0	43.9	43.8	43.9	43.9	44.3	44.4	44.4
20.25 6.100	12.2	50.5	.500	27.9					
	2.20	43.9	.600	21.3					
	40.6	48.2	40.7	48.8	38.6	48.0	50.2	52.8	55.4
	55.8	55.7	22.4	253.	1.00	26.6	30.8	42.6	44.0
20.75 6.100	43.4	43.3	44.2	44.1	44.0	43.9	44.2	44.3	44.4
	8.10	50.9	.400	28.5					
	1.40	44.0	.100	21.6					
	36.7	42.8	36.9	41.6	39.6	47.9	50.3	52.8	55.2
21.25 6.100	55.7	55.7	22.3	166.	0.90	26.8	30.5	41.2	41.9
	43.5	43.4	44.2	44.0	43.9	43.8	44.1	44.1	44.2
	4.70	51.0	.100	28.7					
	.700	43.9	-.100	21.6					
21.75 6.100	35.0	39.7	34.0	36.0	40.2	47.7	50.3	52.9	55.0
	55.6	55.6	21.8	93.2	0.80	26.7	30.0	37.8	38.7
	43.4	43.2	44.0	43.7	43.9	43.8	44.1	43.9	43.9
	2.00	51.0	0.00	29.2					
22.25 6.100	.900	43.8	-.100	22.0					
	34.3	38.0	32.1	32.0	40.6	47.5	50.4	52.9	54.9
	55.5	55.4	21.2	49.2	0.70	26.6	29.4	34.8	36.3
	43.1	43.0	43.8	43.5	43.8	43.6	43.9	43.6	43.6
22.75 6.100	-.100	51.0	0.00	29.8					
	1.50	43.5	-.300	22.3					
	33.4	36.7	29.5	28.8	40.9	47.3	50.4	52.9	54.7
	55.4	55.3	20.5	27.1	0.70	26.2	28.4	32.3	34.7
23.25 6.100	43.0	42.8	43.6	43.4	43.6	43.5	43.7	43.4	43.5
	-.700	51.0	0.00	30.5					
	2.40	43.4	-.100	22.9					
	31.1	35.2	25.7	25.5	41.1	47.1	50.1	52.8	54.5
23.75 6.100	55.2	55.1	19.5	16.6	0.80	24.9	26.6	29.7	33.1
	42.6	42.5	43.3	43.0	43.3	43.2	43.5	43.1	43.2
	-.200	50.8	-.200	31.3					
	3.40	43.1	-.300	23.6					
24.25 6.100	28.9	33.9	22.7	22.7	41.2	47.0	50.1	52.7	54.4
	55.0	54.9	19.1	3.40	0.80	23.5	24.8	27.4	31.3
	42.4	42.3	43.1	42.8	43.1	43.0	43.2	42.9	42.9
	0.00	50.8	0.00	31.7					
24.75 6.100	3.90	42.9	-.200	23.8					
	27.4	32.8	20.4	20.5	41.1	46.8	50.1	52.7	54.2
	54.8	54.7	18.8	0.00	0.90	22.1	23.1	25.3	29.1
	42.1	42.0	42.8	42.5	42.9	42.8	43.1	42.6	42.7
25.25 6.100	.100	50.6	-.200	31.8					
	3.80	42.6	-.300	23.8					
	26.4	31.8	19.0	19.1	41.0	46.6	49.9	52.6	53.9
	54.6	54.4	18.4	0.00	0.90	20.9	21.7	23.5	26.6
25.75 6.100	41.8	41.7	42.5	42.4	42.7	42.6	42.8	42.4	42.5
	.100	50.4	-.200	32.0					
26.25 6.100	3.10	42.4	-.200	24.0					

23.25 6.100	25.6	31.1	18.0	18.1	41.0	46.4	49.9	52.4	53.8
	54.4	54.2	18.0	0.00	0.90	20.1	20.7	22.1	24.5
	41.7	41.7	42.4	42.3	42.5	42.4	42.6	42.4	42.4
	.100	50.3	-100	32.3					
23.75 6.100	2.40	42.3	-100	24.3					
	25.0	30.6	17.5	17.5	40.8	46.2	49.8	52.4	53.6
	54.2	54.0	17.8	0.00	1.10	19.4	19.9	21.0	22.7
	41.6	41.6	42.4	42.2	42.3	42.2	42.4	42.3	42.3
.2500 6.110	0.00	50.1	-200	32.3					
	1.70	42.1	-200	24.3					
	24.6	30.2	17.0	17.0	40.7	46.1	49.6	52.2	53.4
	54.0	53.8	17.6	0.00	1.20	18.8	19.2	20.0	21.1
.7500 6.110	41.4	41.5	42.3	42.0	42.1	42.0	42.2	42.1	42.1
	0.00	50.0	-100	32.4					
	1.10	42.0	-100	24.4					
	24.2	29.8	16.6	16.7	40.6	45.9	49.6	52.2	53.2
1.250 6.110	53.8	53.6	17.6	0.00	1.60	18.3	18.6	19.2	19.9
	41.3	41.4	42.1	41.8	41.9	41.8	42.0	41.9	42.0
	.100	49.8	-200	32.2					
	.700	41.8	-200	24.2					
1.750 6.110	23.9	29.6	16.4	16.5	40.5	45.8	49.4	52.1	53.1
	53.6	53.4	17.6	0.00	1.90	17.9	18.2	18.5	18.9
	41.1	41.2	42.0	41.7	41.7	41.6	41.8	41.8	41.8
	.100	49.7	-100	32.1					
2.250 6.110	.400	41.6	-200	24.0					
	23.7	29.4	16.3	16.5	40.3	45.6	49.4	51.9	52.9
	53.4	53.2	17.6	0.00	1.90	17.6	17.8	18.0	18.2
	40.9	41.1	41.8	41.5	41.5	41.5	41.7	41.6	41.7
2.750 6.110	.200	49.5	-200	31.9					
	.200	41.5	-100	23.9					
	23.4	29.1	16.3	16.5	40.1	45.4	49.2	51.9	52.7
	53.2	53.0	17.1	0.00	1.80	17.3	17.5	17.5	17.6
3.250 6.110	40.7	40.9	41.7	41.4	41.4	41.2	41.4	41.4	41.4
	.200	49.4	-100	32.3					
	.100	41.3	-200	24.2					
	23.2	29.0	16.3	16.4	39.9	45.3	49.1	51.7	52.5
3.750 6.110	52.9	52.8	17.0	0.00	1.90	17.0	17.2	17.2	17.1
	40.3	40.7	41.4	41.1	41.1	41.0	41.2	41.2	41.2
	.100	49.2	-200	32.2					
	-.100	41.0	-300	24.0					
4.250 6.110	23.1	28.8	16.0	16.2	39.7	45.0	49.0	51.6	52.3
	52.7	52.6	16.9	0.00	2.00	16.7	16.9	16.8	16.7
	40.1	40.5	41.2	40.9	41.0	40.9	41.1	41.0	41.1
	.200	49.0	-200	32.1					
4.750 6.110	-.100	40.9	-100	24.0					
	22.8	28.5	15.9	15.9	39.5	44.9	48.8	51.4	52.1
	52.5	52.3	16.9	0.00	1.80	16.4	16.6	16.4	16.3
	39.8	40.2	41.0	40.7	40.8	40.7	40.9	40.9	40.9
5.250 6.110	0.00	48.8	-200	31.9					
	-.100	40.7	-200	23.8					
	22.7	28.3	15.9	15.9	39.3	44.7	48.7	51.2	51.8
	39.6	40.1	40.8	40.6	40.6	40.5	40.7	40.7	40.7
5.750 6.110	0.00	48.6	-200	31.7					
	-.100	40.5	-200	23.6					
	22.5	28.2	15.7	15.9	39.1	44.5	48.5	51.1	51.7
	52.0	51.9	16.7	0.00	1.30	16.1	16.3	16.1	15.9
6.250 6.110	39.3	39.9	40.7	40.4	40.4	40.3	40.4	40.4	40.5
	.200	48.4	-200	31.7					
	-.200	40.3	-200	23.6					
	22.5	28.2	15.7	15.8	39.0	44.3	48.4	51.0	51.5
6.750 6.110	51.8	51.7	16.5	0.00	1.10	16.0	16.2	15.8	15.7
	39.0	39.7	40.4	40.2	40.2	40.1	40.3	40.2	40.3
	.100	48.2	-200	31.7					
	-.100	40.0	-300	23.5					
7.250 6.110	22.4	28.2	15.7	15.7	38.8	44.2	48.2	50.8	51.3
	51.7	51.5	16.6	5.40	1.00	15.9	16.1	15.7	15.6
	38.7	39.5	40.2	40.0	40.0	39.9	40.1	40.1	40.1
	0.00	48.1	-100	31.5					
7.750 6.110	-.100	39.8	-200	23.2					
	22.4	28.0	15.7	15.9	38.8	44.0	48.2	50.7	51.2
	51.5	51.3	16.7	19.2	0.80	15.8	16.0	15.6	15.4
	38.5	39.3	40.1	39.8	39.8	39.7	39.9	39.9	39.9
8.230 6.110	.200	48.0	-100	31.3					
	-.200	39.7	-100	23.0					
	22.6	28.0	16.2	16.2	38.6	43.9	47.9	50.5	51.0
	51.2	51.1	16.8	35.8	0.70	15.8	16.0	15.6	15.4
8.750 6.110	38.3	39.1	39.9	39.6	39.7	39.5	39.7	39.7	39.7
	0.00	47.7	-300	30.9					
	-.200	39.5	-200	22.7					
	21.9	28.3	17.1	17.3	38.4	43.7	47.9	50.5	50.8
9.230 6.110	51.1	51.1	17.0	55.9	0.50	16.0	16.1	15.9	15.9
	38.1	38.9	39.7	39.4	39.5	39.4	39.5	39.5	39.6
	.200	47.6	-100	30.6					
	0.00	39.3	-200	22.3					
9.750 6.110	22.4	28.7	18.1	18.6	38.3	43.6	47.7	50.3	50.7
	50.9	50.8	17.3	40.2	0.40	16.3	16.3	16.3	17.5
	37.8	38.7	39.6	39.3	39.3	39.2	39.4	39.4	39.4
	.500	47.5	-100	30.2					
10.230 6.110	1.20	39.1	-200	21.8					
	23.0	28.4	18.6	19.0	38.3	43.4	47.7	50.2	50.5
	50.7	50.7	17.7	93.2	0.30	16.4	16.5	16.7	18.3
	37.6	38.6	39.4	39.2	39.2	39.0	39.2	39.2	39.2
10.750 6.110	.400	47.4	-100	29.7					
	1.60	39.0	-100	21.3					

B III. Die Meßdaten vom 3. Juni 1982 (System MB mit Doppelscheibe)

9.130	6.030	15.8	16.0	16.1	16.3	16.1	15.8	15.9	15.9	16.0
		16.1	16.1	20.2	187.	.400	14.5	24.0	14.2	16.8
		14.5	14.6	14.7	15.0	16.5	16.2	16.9	18.2	19.7
		.200	16.0	0.00	-4.20					
		2.60	16.3	0.00	-3.90					
9.630	6.030	16.1	27.8	16.5	29.4	16.2	15.9	16.1	16.0	16.0
		16.8	26.6	21.1	348.	.700	14.6	24.3	14.0	17.7
		14.6	14.7	14.9	15.8	17.4	16.2	17.5	18.8	20.4
		12.9	17.7	1.70	-3.40					
		3.70	16.7	.400	-4.40					
10.13	6.030	16.0	34.2	16.5	34.9	16.0	15.7	16.0	15.9	16.0
		17.4	33.9	22.0	469.	1.00	14.4	21.0	12.9	18.5
		12.7	12.9	13.3	13.5	18.7	18.9	19.3	18.5	19.3
		18.4	18.7	1.00	-3.30					
		5.60	17.4	0.70	-4.60					
10.63	6.030	16.0	40.4	16.5	40.8	16.0	15.8	16.0	16.0	16.4
		23.1	40.3	22.8	658.	1.10	18.1	19.6	14.5	20.8
		14.8	15.0	14.8	16.4	21.8	20.4	20.6	20.5	21.0
		24.3	20.5	1.80	-2.30					
		6.30	18.4	1.00	-4.40					
11.13	6.030	16.2	43.1	16.5	43.4	16.2	15.9	16.2	16.3	18.1
		32.8	42.9	23.6	711.	1.30	21.3	19.5	15.8	23.1
		15.0	16.8	17.8	18.4	23.7	22.8	22.6	21.7	21.8
		26.9	22.6	2.10	-1.00					
		7.30	20.1	1.70	-3.50					
11.63	6.030	16.2	44.0	16.5	44.2	16.2	15.9	16.3	16.9	24.1
		39.4	44.0	24.1	726.	1.30	23.1	19.6	18.1	24.9
		17.4	18.7	19.8	20.5	25.5	23.9	23.7	23.2	23.8
		27.7	24.7	2.10	0.60					
		6.80	21.8	1.70	-2.30					
12.13	6.030	16.3	46.7	16.7	47.3	16.3	16.2	16.7	19.5	32.7
		42.5	46.6	24.6	877.	1.40	24.4	20.3	20.3	27.3
		19.6	20.6	21.1	21.6	27.3	26.1	25.9	25.2	25.7
		30.6	27.2	2.50	2.60					
		7.00	23.7	1.90	-0.90					
12.63	6.030	16.5	49.2	16.8	49.5	16.5	16.3	17.7	26.3	39.2
		44.3	49.0	25.1	924.	1.50	26.5	21.9	22.5	29.8
		22.1	22.9	23.9	24.5	29.8	28.4	28.9	28.5	28.9
		32.7	29.9	2.70	4.80					
		7.30	26.4	2.70	1.30					
13.13	6.030	16.6	50.8	17.0	51.2	16.6	16.7	21.5	34.4	42.5
		47.0	50.7	25.7	962.	1.70	27.2	22.7	24.6	31.7
		23.8	25.0	26.0	26.8	32.4	30.3	30.7	30.3	30.7
		34.2	32.8	2.90	7.10					
		7.10	28.4	2.00	2.70					
13.63	6.030	17.0	52.3	17.5	52.8	16.9	18.5	28.6	40.1	44.9
		49.2	52.1	26.3	978.	1.00	28.0	24.6	27.5	34.4
		26.5	27.9	28.8	29.3	34.5	32.7	33.2	32.9	33.3
		35.3	35.8	3.00	9.50					
		6.90	31.0	2.60	4.70					
14.13	6.030	18.3	53.7	18.7	54.2	17.4	23.1	35.7	43.3	47.4
		50.9	53.5	26.9	980.	1.20	28.2	26.3	30.0	36.6
		29.0	30.3	31.3	31.8	37.0	35.4	35.9	35.6	36.0
		35.5	38.8	3.00	11.9					
		6.60	33.6	2.60	6.70					
14.63	6.030	21.8	55.2	21.8	55.7	18.2	29.8	40.7	45.8	49.5
		52.4	55.0	27.3	949.	1.20	28.4	28.0	32.5	38.7
		31.4	32.9	33.8	34.4	39.3	37.4	37.8	37.6	37.9
		33.9	41.6	2.80	14.3					
		6.20	35.8	2.20	8.50					
15.13	6.030	27.3	57.1	26.9	57.7	20.1	36.2	43.8	48.1	51.1
		53.7	56.9	27.6	904.	1.20	28.4	29.9	34.7	40.5
		33.6	35.1	35.9	36.3	41.3	39.3	39.6	39.4	39.7
		30.8	44.3	2.70	16.7					
		5.80	37.8	2.00	10.2					
15.63	6.030	33.1	59.1	32.6	59.7	23.1	40.7	46.3	50.0	52.4
		55.2	58.9	27.8	845.	1.00	28.2	31.4	36.6	42.0
		35.5	36.9	37.7	38.2	43.1	41.4	41.7	41.4	41.6
		27.1	46.7	2.40	18.9					
		5.40	39.7	1.90	11.9					
16.13	6.030	37.8	60.0	37.1	60.6	27.0	43.7	48.4	51.5	53.7
		57.1	59.9	28.1	712.	0.90	28.1	32.0	38.4	43.1
		37.3	38.7	39.5	39.9	44.8	42.8	43.0	42.7	42.8
		23.5	48.8	2.10	20.7					
		4.70	41.3	1.60	13.2					
16.63	6.030	41.0	60.3	40.2	61.1	30.9	46.0	50.1	52.7	55.2
		58.7	60.2	28.0	662.	1.00	28.1	32.0	40.0	44.2
		38.9	40.4	41.1	41.4	46.0	44.0	44.1	43.6	43.7
		20.9	50.5	1.70	22.5					
		4.20	42.6	1.30	14.6					
17.13	6.030	43.5	60.4	42.6	61.2	34.2	47.9	51.4	54.0	56.7
		59.4	60.2	27.8	570.	1.20	27.9	31.9	41.2	44.8
		40.1	41.5	42.1	42.3	47.0	44.9	45.0	44.6	44.7
		18.6	52.0	1.50	24.2					
		3.60	43.6	1.00	15.8					
17.63	6.030	44.7	59.2	44.2	60.2	37.1	49.2	52.5	55.1	57.9
		59.7	59.8	27.7	476.	1.10	28.1	32.2	42.6	45.5
		41.5	42.8	43.3	43.5	47.8	45.8	45.7	45.3	45.2
		16.0	53.0	1.00	25.3					
		2.90	44.5	.900	16.8					
18.13	6.030	40.2	53.6	44.5	56.4	39.1	49.4	52.7	55.3	58.1
		59.6	59.8	27.5	324.	1.30	28.0	32.1	43.1	45.1
		42.1	43.4	44.0	44.2	48.2	46.1	45.8	45.5	45.3
		11.9	53.4	.400	25.9					
		2.00	45.0	.500	17.5					
18.63	6.030	37.8	50.0	43.8	52.8	40.3	49.3	52.6	55.4	57.9
		59.4	59.6	27.3	241.	1.10	27.8	31.5	43.0	44.2
		42.1	43.5	44.0	44.2	48.4	46.0	45.6	45.1	45.0
		9.00	53.5	.100	26.2					
		1.20	44.9	-.100	17.6					
19.13	6.030	36.8	47.4	41.7	49.3	41.1	49.1	52.6	55.4	58.0
		59.4	59.5	27.0	178.	1.00	26.5	29.6	40.9	41.5
		40.7	42.3	42.8	42.8	48.3	45.7	45.4	44.8	44.7
		7.60	53.6	.100	26.6					
		.600	44.8	-.100	17.8					
19.63	6.030	35.7	44.9	38.8	45.4	41.7	49.0	52.7	55.3	57.8
		59.3	59.3	26.7	126.	0.70	22.9	25.4	34.7	35.4
		37.0	38.9	39.4	39.3	48.1	45.8	45.6	45.0	44.9
		6.60	53.6	0.00	26.9					
		.700	44.6	-0.20	17.9					

B IV. Die Meßdaten vom 2. Juli 1982 (Einschaltvorgang)

13.60	7.020	14.1	16.6	14.1	16.9	14.4	14.1	14.4	14.4	13.9
		13.9	14.1	23.4	965	.700	13.3	15.8	13.8	17.9
		13.3	13.6	14.1	14.0		14.1	13.8	13.8	14.6
		2.80	14.2	0.00	-9.19					
		4.10	14.0	0.00	-9.40					
13.78	7.020	14.3	27.1	14.8	33.3	14.4	14.1	14.4	14.4	13.9
		13.9	24.8	23.1	971	1.90	14.1	16.3	13.8	21.0
		13.3	13.6	13.9	14.0	14.2	13.8	14.1	15.7	16.8
		18.5	15.7	1.50	-7.40					
		7.20	14.4	0.40	-8.70					
13.95	7.020	14.4	47.9	14.9	48.6	14.4	14.1	14.4	14.4	13.9
		14.1	47.9	23.4	977	2.00	15.5	17.2	13.8	22.9
		13.3	13.6	14.0	14.2	14.4	14.0	16.7	19.3	20.0
		33.7	19.0	3.30	-4.40					
		9.10	15.5	1.10	-7.90					
14.11	7.020	14.4	47.4	15.0	47.8	14.4	14.1	14.4	14.4	14.0
		14.3	47.2	23.8	972	2.00	17.0	18.0	14.0	23.0
		13.3	13.6	14.1	14.4	14.7	15.0	19.6	21.1	21.7
		32.8	19.0	0.00	-4.80					
		9.00	16.4	.700	-7.40					
14.28	7.020	14.4	47.2	15.1	47.6	14.4	14.1	14.4	14.4	14.1
		17.3	47.0	24.0	960	1.70	18.3	18.7	14.0	23.2
		13.5	13.8	14.3	14.9	16.0	18.1	21.1	22.4	22.3
		32.5	19.4	.400	-4.60					
		9.19	17.4	0.80	-6.60					
14.45	7.020	14.4	47.1	15.1	47.4	14.4	14.1	14.4	14.6	14.1
		26.5	46.9	24.1	941	1.50	19.3	19.2	13.9	23.3
		13.5	13.8	14.6	15.8	18.9	20.1	21.9	22.8	22.5
		32.3	20.7	1.30	-3.40					
		9.40	18.2	.500	-5.90					
14.61	7.020	14.4	47.1	15.1	47.5	14.4	14.1	14.4	14.6	14.2
		36.0	46.9	24.2	934	2.00	20.3	20.0	14.1	23.5
		13.8	14.4	16.4	18.1	20.8	21.4	22.4	23.1	22.9
		32.4	22.1	1.40	-2.10					
		9.40	19.3	.800	-4.90					
14.78	7.020	14.4	47.2	15.3	47.7	14.4	14.1	14.4	14.6	14.8
		41.9	47.0	24.6	926	1.90	20.9	20.5	14.2	23.8
		14.3	16.2	19.0	20.2	22.1	22.2	22.7	23.4	23.1
		32.4	23.0	.900	-1.60					
		9.60	20.4	1.00	-4.20					
14.95	7.020	14.5	47.4	15.4	47.8	14.6	14.2	14.6	14.6	16.8
		44.6	47.2	24.9	917	1.80	21.5	21.2	14.5	24.1
		16.3	18.7	20.7	21.9	22.8	22.6	23.0	23.7	23.4
		32.4	23.8	.800	-1.10					
		9.60	21.5	1.10	-3.40					
15.11	7.020	14.6	47.5	15.4	48.0	14.6	14.3	14.6	14.8	21.1
		45.8	47.3	25.1	904	1.90	22.0	21.9	15.4	24.6
		18.6	20.3	21.8	22.6	23.2	22.9	23.3	24.0	23.9
		32.6	24.6	.800	-1.500					
		9.19	22.3	.900	-2.90					
15.28	7.020	14.6	47.6	15.4	48.0	14.6	14.4	14.6	14.9	27.2
		46.3	47.4	25.4	883	1.70	22.5	22.7	17.4	25.8
		20.3	21.5	22.5	23.2	23.6	23.2	23.7	24.6	24.7
		32.6	25.6	1.00	-2.00					
		8.40	23.0	.700	-2.40					
15.45	7.020	14.6	47.7	15.6	48.0	14.6	14.4	14.6	15.3	33.2
		46.6	47.4	25.6	866	2.40	22.9	23.4	19.5	27.2
		21.4	22.1	22.9	23.7	23.9	23.6	24.3	25.5	25.9
		32.4	26.6	1.00	1.00					
		7.70	23.7	.700	-1.90					
15.61	7.020	14.6	47.6	15.6	47.9	14.6	14.4	14.7	16.3	37.8
		46.7	47.4	25.6	846	1.80	23.2	23.9	21.0	28.2
		22.0	22.5	23.2	24.2	24.3	24.0	25.4	26.7	27.0
		32.3	27.4	.800	1.80					
		7.20	24.4	.700	-1.20					
15.78	7.020	14.8	47.6	15.7	48.0	14.6	14.4	14.9	18.5	41.2
		46.9	47.4	25.8	826	2.20	23.6	24.5	22.0	29.0
		22.4	22.9	23.6	24.5	24.8	24.8	26.7	27.9	28.0
		32.3	28.3	.900	2.50					
		7.00	25.1	.700	-7.00					
15.95	7.020	14.9	44.0	16.1	42.1	14.7	14.6	14.8	21.4	43.0
		46.6	45.6	25.9	89.6	1.90	23.8	25.0	22.5	27.2
		22.7	23.2	24.0	24.9	25.6	25.9	27.5	28.6	28.5
		26.0	28.7	.400	2.80					
		4.70	25.8	.600	-1.00					
16.11	7.020	15.2	35.9	17.2	34.1	14.8	14.5	15.0	23.1	43.6
		46.0	44.4	26.2	51.2	1.70	24.1	25.5	22.8	25.5
		22.9	23.4	24.2	25.3	26.2	26.5	27.3	28.6	28.5
		16.9	28.8	.100	2.60					
		2.70	26.0	.100	-2.00					
16.28	7.020	15.3	33.8	18.1	33.7	14.8	14.6	15.1	24.4	44.6
		45.6	43.7	26.3	60.3	1.90	24.5	26.1	23.0	25.6
		23.1	23.6	24.5	25.7	26.7	26.6	27.0	28.7	28.5
		15.6	29.0	.200	2.70					
		2.60	26.1	.100	-2.00					
16.45	7.020	15.3	34.1	17.9	34.5	14.8	14.5	15.1	25.7	45.0
		44.9	42.4	26.5	52.6	1.60	24.7	26.6	23.2	25.7
		23.2	23.8	24.8	26.0	27.1	26.5	26.8	28.7	28.5
		16.6	28.9	-.100	2.40					
		2.50	26.2	.100	-3.00					
16.61	7.020	15.3	34.8	17.7	35.2	14.8	14.6	15.3	27.2	44.7
		44.6	42.3	27.4	40.8	1.50	25.0	27.0	23.4	25.8
		23.4	24.0	25.2	26.3	27.2	26.5	26.7	28.7	28.6
		17.5	29.1	.200	1.70					
		2.40	26.3	.100	-1.10					
16.78	7.020	15.3	35.2	17.8	35.5	14.9	14.7	15.6	28.7	44.3
		44.2	41.7	27.7	30.2	2.00	25.3	27.5	23.6	26.0
		23.6	24.3	25.6	26.3	27.2	26.6	26.7	28.6	28.6
		17.7	29.2	.100	1.50					
		2.40	26.4	.100	-1.30					
16.95	7.020	15.4	35.1	17.9	35.5	15.1	14.9	16.0	30.2	44.0
		43.8	41.6	27.7	27.6	2.20	25.6	27.8	23.8	26.1
		23.9	24.7	26.1	26.6	27.2	26.6	26.7	28.6	28.8
		17.6	29.4	.200	1.70					
		2.30	26.6	.200	-1.10					
17.11	7.020	15.4	35.0	18.0	35.4	15.1	14.9	16.5	31.5	43.7
		43.5	41.4	27.4	20.1	1.60	25.9	28.1	24.0	26.2
		24.2	25.1	26.5	26.9	27.3	26.6	26.7	28.6	28.8
		17.4	29.5	.100	2.10					
		2.20	26.7	.100	-7.00					
17.28	7.020	15.5	34.9	18.2	35.2	15.1	14.9	17.0	32.8	43.4
		43.3	40.9	27.6	20.1	2.10	26.1	28.3	24.2	26.4
		24.5	25.6	26.6	27.0	27.3	26.6	26.8	28.6	28.8
		17.0	29.6	.100	2.00					
		2.20	26.9	.100	-7.00					
17.45	7.020	15.6	34.6	18.4	35.0	15.1	15.1	17.6	33.9	43.2
		43.0	40.9	27.6	16.4	2.80	26.4	28.6	24.4	26.4
		24.9	26.0	26.7	27.1	27.4	26.8	26.9	28.6	29.0
		16.6	29.8	.200	2.20					
		2.00	27.0	.100	-6.00					

B V. Die Meßdaten vom 14. Juli 1982 (Verbrauchsprofil 1)

1.100	7.140	27.1	38.5	24.5	24.5	32.5	33.6	37.7	49.0	59.4
		63.0	62.8	24.1	0.00	.700	25.3	27.0	26.1	26.4
		30.8	33.4	39.1	48.7	49.7	49.8	50.0	50.2	50.4
		0.00	48.3	-200	24.2					
		.300	44.7	0.00	20.6					
.6100	7.140	26.7	38.0	23.9	23.9	32.4	33.6	37.9	49.0	59.0
		62.6	62.5	23.9	0.00	.700	24.9	26.2	25.5	25.6
		30.9	33.6	39.0	48.3	49.5	49.6	49.8	49.9	50.1
		0.00	48.1	-200	24.2					
		.100	44.5	-200	20.6					
1.110	7.140	26.5	37.6	23.5	23.5	32.3	33.7	38.0	49.0	58.8
		62.4	62.2	23.3	0.00	.700	24.5	25.5	24.9	24.9
		30.9	33.7	39.0	48.1	49.3	49.4	49.6	49.8	49.9
		0.00	48.1	0.00	24.8					
		0.00	44.4	-100	21.1					
1.610	7.140	26.0	37.1	22.9	22.9	32.1	33.7	38.2	48.9	58.4
		62.1	61.9	22.0	0.00	.600	24.0	24.7	24.3	24.2
		30.9	33.7	39.0	47.8	49.1	49.2	49.3	49.5	49.7
		0.00	47.9	-200	25.9					
		-.100	44.2	-200	22.2					
2.110	7.140	25.4	36.5	22.1	22.0	32.1	33.6	38.3	48.7	58.0
		61.7	61.5	21.3	0.00	.700	23.4	23.9	23.7	23.5
		30.9	33.7	38.9	47.5	48.9	49.0	49.2	49.4	49.4
		-.100	47.7	-200	26.4					
		-.200	44.1	-100	22.8					
2.610	7.140	25.0	36.1	21.6	21.5	32.0	33.7	38.6	48.8	57.7
		61.5	61.3	20.8	0.00	.600	22.8	23.3	23.1	22.8
		31.0	33.9	39.0	47.3	48.7	48.8	49.0	49.2	49.2
		-.100	47.7	0.00	26.9					
		-.300	44.0	-100	23.2					
3.110	7.140	24.5	35.6	21.0	20.9	31.9	33.7	38.6	48.7	57.4
		61.1	60.9	20.4	0.00	.600	22.3	22.7	22.5	22.2
		31.0	33.9	38.9	47.1	48.5	48.6	48.8	49.0	49.0
		-.100	47.5	-200	27.1					
		-.300	43.9	-100	23.5					
3.610	7.140	24.3	35.3	20.6	20.5	31.9	33.7	38.8	48.6	57.1
		60.8	60.6	20.8	0.00	.700	21.8	22.1	22.0	21.7
		31.0	34.0	38.9	46.9	48.4	48.5	48.6	48.8	48.8
		-.100	47.4	-100	26.6					
		-.300	43.8	-100	23.0					
4.110	7.140	24.1	35.0	20.4	20.5	31.7	33.8	38.8	48.5	56.8
		60.5	60.3	20.9	0.00	.700	21.6	21.8	21.6	21.3
		31.0	34.1	38.9	46.7	48.1	48.2	48.4	48.6	48.6
		-.100	47.2	-200	26.3					
		-.300	43.6	-200	22.7					
4.610	7.140	24.0	34.7	20.2	20.3	31.6	33.9	39.0	48.4	56.5
		60.2	60.0	20.7	0.00	.700	21.4	21.5	21.3	21.0
		31.0	34.1	38.8	46.5	47.9	48.0	48.2	48.4	48.4
		-.100	47.1	-100	26.4					
		-.300	43.5	-100	22.8					
5.110	7.140	23.8	34.4	20.0	20.2	31.6	33.9	39.0	48.4	56.2
		59.9	59.7	20.4	0.00	.700	21.2	21.3	21.1	20.8
		31.0	34.1	38.8	46.3	47.7	47.8	48.0	48.2	48.2
		-.200	47.0	-100	26.6					
		-.300	43.4	-100	23.0					
5.610	7.140	23.6	34.2	19.8	20.0	31.4	33.9	39.1	48.3	55.9
		59.6	59.4	19.6	0.00	.700	20.9	21.0	20.8	20.5
		30.9	34.1	38.8	46.0	47.5	47.6	47.8	48.0	47.9
		-.200	46.8	-200	27.2					
		-.300	43.2	-200	23.6					
6.100	7.140	23.1	33.9	19.5	19.6	31.3	33.9	39.2	48.2	55.6
		59.3	59.1	19.3	5.30	.700	20.5	20.7	20.4	20.2
		30.9	34.1	38.7	45.8	47.3	47.4	47.6	47.8	47.7
		-.100	46.7	-100	27.4					
		-.200	43.0	-200	23.7					
6.610	7.140	22.6	33.6	19.4	19.4	31.2	33.9	39.2	48.1	55.4
		59.0	58.8	19.2	19.3	.700	20.2	20.4	20.1	19.9
		30.9	34.2	38.6	45.6	47.1	47.2	47.4	47.6	47.5
		0.00	46.5	-200	27.3					
		-.200	42.9	-100	23.7					
7.110	7.140	22.9	33.4	19.8	19.8	31.1	33.9	39.2	47.9	55.1
		58.6	58.4	19.4	38.6	.700	20.0	20.1	19.9	19.7
		30.8	34.2	38.4	45.3	46.8	46.9	47.1	47.3	47.2
		0.00	46.3	-200	26.9					
		-.200	42.7	-200	23.3					
7.400	7.140	22.7	33.5	20.6	20.8	31.1	33.9	39.2	47.9	54.8
		58.3	58.2	19.7	61.3	.700	20.1	20.1	20.0	19.8
		30.8	34.1	38.4	45.0	46.5	46.7	47.0	47.0	47.0
		-.200	46.2	-100	26.5					
		-.200	42.5	-200	22.8					
7.480	7.140	22.9	34.9	20.8	21.1	30.9	33.4	38.6	47.3	54.3
		58.2	58.2	19.7	70.8	.800	20.1	20.2	20.0	20.0
		30.8	34.1	38.4	45.0	46.5	46.7	46.9	47.0	47.0
		-.300	45.8	-400	26.1					
		0.00	42.5	0.00	22.8					
7.560	7.140	26.2	55.2	21.0	21.4	30.3	30.7	32.1	39.8	47.6
		55.6	58.2	19.7	70.8	.800	20.1	24.1	20.0	20.3
		30.8	34.2	38.4	45.3	46.8	47.0	47.2	47.4	47.0
		-.400	42.0	-3.80	22.3					
		-.300	42.7	-200	23.0					
7.650	7.140	26.1	56.3	21.2	21.7	29.8	30.2	31.3	37.3	45.3
		53.9	57.6	19.9	77.4	.700	23.8	46.6	20.1	20.6
		29.8	32.0	36.5	44.2	46.5	46.9	47.3	47.5	46.5
		-.500	40.8	-1.20	20.9					
		-.500	41.9	-800	22.0					
7.730	7.140	26.5	56.1	21.4	22.0	29.1	29.3	30.0	32.3	40.8
		49.9	56.8	20.0	80.9	.800	26.4	46.8	20.3	21.0
		27.8	28.9	38.5	39.6	44.7	45.6	46.5	46.8	46.3
		-.600	38.3	-2.50	18.3					
		-.700	39.6	-2.30	19.6					
7.810	7.140	26.0	53.9	21.7	22.4	29.0	29.3	30.0	32.3	40.7
		49.9	56.5	20.2	84.5	.800	25.6	46.5	20.8	21.5
		27.4	27.8	28.6	33.2	38.3	42.1	46.0	46.3	45.8
		-.700	38.2	-1.00	18.0					
		-.700	37.3	-2.30	17.1					
7.900	7.140	25.6	51.5	22.0	22.7	29.0	29.3	30.0	32.3	40.7
		49.9	56.2	20.2	91.0	.800	25.3	45.4	21.6	21.9
		27.1	27.5	28.3	30.3	34.8	40.1	45.4	45.8	45.5
		-.700	38.2	0.00	18.0					
		-.300	36.1	-1.20	15.9					
7.980	7.140	25.3	49.3	22.2	23.1	29.1	29.3	30.0	32.3	40.7
		49.8	55.9	20.3	109.1	.800	25.2	44.0	21.9	22.3
		27.1	27.4	28.2	30.1	34.5	39.9	45.3	45.6	45.3
		-.900	38.2	0.00	17.9					
		-.400	35.9	-200	15.6					

8.060	7.140	25.0	47.4	22.6	23.5	29.0	29.3	30.0	32.3	40.7
		49.7	55.7	20.4	131.	.700	24.9	42.7	22.0	22.7
		27.1	27.4	28.2	30.0	34.5	39.8	45.1	45.5	45.3
		.900	38.1	-1.00	17.7					
		.700	35.9	0.00	15.5					
8.149	7.140	24.8	45.7	22.9	24.1	29.0	29.3	30.0	32.3	40.6
		49.7	55.4	20.7	144.	.700	24.9	41.5	22.1	23.2
		27.1	27.4	28.2	30.1	34.5	39.8	45.1	45.5	45.3
		1.20	38.0	-1.00	17.3					
		1.10	35.9	0.00	15.2					
8.230	7.140	24.7	44.1	23.2	24.6	29.1	29.3	29.9	32.4	40.5
		49.7	55.2	20.8	153.	.600	24.7	40.3	22.3	23.9
		27.1	27.4	28.3	30.2	34.5	39.7	45.0	45.5	45.3
		1.40	38.0	0.00	17.2					
		1.60	35.9	0.00	15.1					
8.310	7.140	24.6	42.9	23.7	25.3	29.2	29.3	29.9	32.5	40.6
		49.7	55.1	21.0	163.	.800	24.6	39.3	22.6	24.6
		27.1	27.5	28.3	30.2	34.5	39.7	45.0	45.5	45.2
		1.60	38.0	0.00	17.0					
		2.00	35.9	0.00	14.9					
8.850	7.140	24.0	43.0	27.9	27.3	28.7	29.2	29.9	32.5	40.3
		49.4	54.5	21.4	210.	.800	24.5	35.9	25.4	28.8
		27.2	27.6	28.6	31.0	35.7	40.0	44.4	45.3	45.0
		-6.00	37.8	-3.00	16.4					
		3.40	36.1	.200	14.7					
9.350	7.140	27.3	40.2	27.2	39.2	28.6	29.1	29.9	33.0	40.6
		49.8	51.0	22.1	283.	.800	24.9	32.3	27.7	31.8
		27.5	28.4	30.1	35.1	35.5	38.5	41.5	45.0	44.9
		12.0	37.4	-4.00	15.3					
		4.10	36.3	.200	14.2					
9.850	7.140	28.7	45.2	28.9	46.1	28.6	29.2	30.3	35.0	43.0
		48.9	47.5	22.9	403.	.800	25.6	30.2	28.1	33.3
		29.3	31.9	34.6	34.7	34.5	35.6	36.7	44.6	44.7
		17.2	37.5	.100	14.6					
		5.20	36.3	0.00	13.4					
10.35	7.140	28.9	47.8	29.1	48.7	28.6	29.4	31.4	38.2	46.2
		48.2	47.8	23.7	499.	.900	26.8	29.1	30.6	35.6
		34.0	34.6	35.1	34.6	34.5	35.2	35.9	44.1	44.7
		19.6	38.5	1.00	14.8					
		5.00	37.0	.700	13.3					
10.85	7.140	29.2	50.6	29.4	51.5	28.7	29.9	33.7	42.1	47.5
		48.2	49.9	24.6	592.	.800	28.1	28.6	34.6	39.4
		34.6	34.8	35.4	36.1	37.0	38.1	39.3	40.7	44.6
		22.1	40.0	1.50	15.4					
		4.80	37.9	.900	13.3					
11.35	7.140	29.6	52.6	29.9	53.4	29.0	31.2	37.3	45.9	47.8
		48.4	52.0	25.6	638.	.800	29.4	28.6	35.2	40.7
		35.5	36.5	38.1	39.6	39.7	40.0	40.3	40.9	42.0
		23.5	41.7	1.70	16.1					
		5.50	39.2	1.30	13.6					
11.85	7.140	30.5	55.6	30.7	56.4	29.3	33.6	41.6	47.9	47.7
		49.9	54.9	26.6	760.	.700	30.7	29.0	37.3	43.0
		38.9	39.6	40.4	40.4	40.5	40.8	41.2	41.7	41.9
		25.7	43.6	1.90	17.0					
		5.70	40.6	1.40	14.0					
12.35	7.140	32.7	58.4	32.7	59.2	29.9	37.6	45.6	48.5	48.3
		52.4	57.7	27.5	820.	.800	32.2	29.9	40.2	45.8
		40.2	40.6	41.4	41.7	42.1	42.8	43.5	44.2	44.5
		26.5	45.7	2.10	18.2					
		5.60	42.3	1.70	14.8					
12.60	7.140	35.9	61.1	35.8	62.1	31.2	42.1	47.8	48.8	50.0
		55.5	60.4	28.2	877.	.800	33.3	39.4	41.2	47.2
		41.3	42.0	43.2	44.2	44.4	44.8	45.2	45.7	45.8
		26.3	48.0	2.30	19.8					
		6.00	44.1	.800	15.9					
12.68	7.140	36.6	61.6	36.5	62.7	31.4	42.9	47.9	48.9	50.4
		56.0	60.9	28.2	878.	.800	33.1	45.9	41.5	47.4
		41.6	42.5	43.8	44.7	44.8	45.2	45.6	46.1	46.1
		26.2	48.3	.300	20.1					
		5.90	44.5	.400	16.3					
12.76	7.140	30.4	53.8	29.2	47.8	32.8	36.3	46.3	48.6	48.9
		53.5	57.7	28.3	880.	.900	27.2	46.3	37.6	46.4
		39.8	43.0	44.6	44.5	44.3	44.3	44.3	44.6	44.5
		18.6	46.3	-2.00	18.0					
		8.80	43.8	-7.00	15.5					
12.85	7.140	31.6	50.3	29.4	53.2	32.4	35.9	45.9	48.5	48.6
		53.2	55.6	28.5	883.	.800	27.4	44.8	37.3	44.6
		42.1	44.0	44.6	44.5	44.3	44.3	44.3	44.6	45.1
		23.8	45.7	-6.00	17.2					
		7.30	44.2	.400	15.7					
12.93	7.140	33.0	59.9	32.9	62.0	32.3	36.5	46.5	48.7	49.0
		53.8	59.7	29.0	882.	.700	29.3	44.4	38.3	45.1
		43.8	44.1	44.7	44.5	44.3	44.3	44.4	44.6	45.2
		29.1	46.6	.900	17.6					
		6.80	44.4	.200	15.4					
13.01	7.140	33.5	60.1	33.6	60.7	32.3	37.2	47.0	48.9	49.4
		54.4	59.7	29.3	892.	.800	30.8	44.0	39.5	45.9
		44.0	44.2	44.7	44.5	44.3	44.3	44.4	44.8	45.1
		27.1	47.0	.400	17.7					
		6.40	44.5	.100	15.2					
13.10	7.140	33.9	60.5	34.0	61.5	32.3	38.0	47.3	48.9	49.7
		54.9	60.0	29.1	892.	.900	32.1	43.5	41.5	47.0
		44.1	44.1	44.6	44.4	44.2	44.3	44.4	45.2	45.6
		27.5	47.3	.300	18.2					
		5.50	44.5	0.00	15.4					
13.18	7.140	34.3	60.9	34.3	61.8	32.4	39.0	47.6	48.9	50.1
		55.3	60.3	28.8	883.	1.00	33.0	43.1	43.2	48.4
		44.1	44.1	44.7	44.5	44.2	44.5	44.8	46.2	46.5
		27.5	47.7	.400	18.9					
		5.20	44.8	.300	16.0					
13.26	7.140	34.7	61.2	34.7	62.1	32.5	40.1	47.8	49.1	50.5
		55.6	60.5	29.1	893.	.900	33.1	42.6	43.9	49.2
		44.1	44.2	44.8	44.5	44.3	45.0	45.7	47.2	47.4
		27.4	48.0	.300	18.9					
		5.30	45.2	.400	16.1					
13.35	7.140	35.2	61.4	35.2	62.4	32.6	41.2	47.9	49.1	50.9
		55.9	60.8	28.9	884.	1.00	33.3	42.2	44.1	49.5
		44.1	44.1	44.7	44.6	44.4	45.6	46.9	48.0	48.1
		27.2	48.3	.300	19.4					
		5.40	45.6	.400	16.7					
13.43	7.140	35.6	61.7	35.6	62.7	32.6	42.3	48.1	49.3	51.3
		56.4	61.0	28.7	873.	1.00	33.5	41.8	44.2	49.6
		44.1	44.2	44.7	44.6	45.1	46.4	47.7	48.5	48.5
		27.1	48.7	.400	20.0					
		5.40	46.0	.400	17.3					
13.51	7.140	36.2	62.0	36.2	63.0	32.8	43.3	48.2	49.4	51.8
		57.0	61.3	29.2	892.	1.00	33.6	41.4	44.4	49.8
		44.2	44.2	44.8	45.0	46.2	47.2	48.2	48.8	48.8
		26.8	49.1	.400	19.9					
		5.40	46.4	.400	17.2					

13.60	7.140	37.0	62.5	36.9	63.5	33.0	44.2	48.4	49.7	52.3
		57.6	61.8	29.5	896.	.900	33.7	41.1	44.4	50.0
		44.2	44.2	44.8	45.9	47.1	47.8	48.5	49.0	49.1
		26.6	49.6	.500	20.1					
		5.60	46.7	.300	17.2					
14.48	7.140	43.5	66.1	43.2	67.2	35.7	47.7	49.3	52.7	56.3
		61.3	65.4	29.8	890.	1.00	34.2	39.4	45.9	51.5
		47.2	47.9	49.0	49.4	48.7	48.9	49.2	49.7	49.9
		24.0	52.6	3.00	22.8					
		5.60	48.9	2.20	19.1					
14.98	7.140	46.3	67.9	46.0	69.0	38.8	48.6	51.1	55.6	59.3
		63.9	67.3	30.4	844.	.900	34.3	38.8	48.8	53.8
		49.1	48.3	49.0	50.5	49.3	49.9	50.6	51.2	51.3
		23.0	54.9	2.30	24.5					
		5.00	49.9	1.00	19.5					
15.48	7.140	47.6	68.4	47.3	69.4	41.4	49.8	53.7	58.6	61.8
		66.2	67.7	30.8	785.	.900	34.4	38.8	49.9	54.8
		50.3	49.7	50.9	52.9	51.5	51.8	52.1	52.5	52.5
		22.1	57.0	2.10	26.2					
		4.90	51.6	1.70	20.8					
15.98	7.140	48.8	68.4	48.4	69.4	43.3	51.8	56.4	61.2	64.2
		67.3	67.9	31.2	699.	.900	34.3	38.9	51.6	55.9
		52.4	51.7	52.6	54.0	52.6	52.9	53.2	53.6	53.7
		21.0	58.9	1.90	27.7					
		4.30	53.0	1.40	21.8					
16.48	7.140	50.2	68.2	49.7	69.3	44.8	53.9	58.8	63.3	65.7
		67.4	67.6	31.2	628.	.900	34.3	38.9	53.1	56.8
		53.4	52.5	53.3	54.8	53.4	53.7	54.1	54.6	54.6
		19.6	60.2	1.30	29.0					
		3.70	53.8	.800	22.6					
16.98	7.140	50.6	64.1	50.3	64.3	46.2	55.6	60.4	64.7	66.3
		67.0	66.6	30.6	290.	.900	34.2	38.6	53.2	55.3
		54.0	53.4	54.3	55.7	54.4	54.6	54.8	55.1	55.0
		14.0	61.0	.800	30.4					
		2.10	54.6	.800	24.0					
17.48	7.140	44.5	60.1	52.2	53.3	47.4	55.7	60.6	64.7	66.1
		66.9	67.0	30.2	247.	.800	33.9	37.7	52.5	53.7
		54.2	54.0	53.9	55.6	54.7	54.9	55.1	55.4	55.2
		1.10	61.2	.200	31.0					
		1.20	54.8	.200	24.6					
17.98	7.140	41.5	61.9	54.5	48.4	47.7	55.6	60.4	64.6	65.9
		66.8	66.8	28.5	81.2	.800	33.6	36.8	50.0	51.2
		54.2	54.3	50.5	55.4	55.0	55.2	55.4	55.7	55.5
		-6.10	61.1	-1.00	32.6					
		1.20	54.6	-2.00	26.1					
18.48	7.140	40.5	63.8	45.2	51.3	47.0	55.2	60.2	64.3	65.5
		66.5	66.7	23.1	-400	.800	31.8	34.3	44.8	48.9
		54.0	54.4	49.3	55.3	55.2	55.3	55.4	55.7	55.2
		6.10	60.8	-1.300	37.7					
		4.10	54.4	-2.00	31.3					
18.98	7.140	34.9	50.0	30.6	35.9	46.9	54.9	59.9	64.1	65.2
		66.3	66.1	19.6	-1.40	.800	27.8	30.1	38.6	46.1
		53.7	54.1	51.7	55.1	55.1	55.1	55.1	55.3	54.8
		5.30	60.5	-1.300	40.9					
		7.50	54.4	0.00	34.8					
19.10	7.140	31.9	42.9	25.5	28.4	47.0	54.7	59.8	63.9	64.9
		66.1	65.8	19.2	0.00	.700	25.3	27.7	35.0	42.5
		53.6	54.1	54.8	54.9	54.8	54.9	55.0	55.1	54.6
		2.90	60.3	-2.00	41.1					
		7.50	54.6	.200	35.4					
19.18	7.140	31.4	41.9	24.8	27.4	47.0	54.7	59.8	63.9	64.9
		66.0	65.7	19.6	0.00	.600	25.9	45.3	34.3	41.4
		50.9	53.5	54.8	54.9	54.8	54.8	54.9	55.0	53.7
		2.60	60.3	0.00	40.7					
		7.10	54.1	-1.500	34.6					
19.26	7.140	29.5	48.1	24.2	26.6	42.3	48.4	57.8	62.7	64.4
		65.8	65.7	19.3	0.00	.700	26.6	54.4	33.9	39.2
		38.0	41.1	51.3	54.3	54.2	54.2	54.2	54.3	53.6
		2.40	58.2	-2.10	38.9					
		5.30	50.6	-3.50	31.3					
19.35	7.140	26.5	64.2	23.9	25.9	34.9	37.1	45.0	59.6	62.4
		65.3	66.0	19.1	0.00	.800	26.2	54.1	33.5	36.4
		33.6	35.7	41.8	53.9	53.8	53.8	53.8	54.0	53.2
		2.00	52.9	-5.30	33.8					
		2.90	48.2	-2.40	29.1					
19.43	7.140	25.6	64.6	23.4	25.3	31.9	33.3	36.7	51.1	59.8
		63.8	65.4	19.0	0.00	.700	25.4	53.6	32.6	34.4
		30.5	31.2	33.5	48.0	53.4	53.4	53.4	53.5	52.9
		1.90	48.9	-4.00	29.9					
		1.80	45.5	-2.70	26.5					
19.51	7.140	24.9	63.7	23.1	24.7	30.8	31.3	32.7	43.1	57.9
		62.4	65.3	19.0	6.50	.700	24.9	51.7	31.4	32.6
		29.4	30.0	31.5	41.2	52.8	52.9	53.0	53.1	52.8
		1.60	46.2	-2.70	27.2					
		1.20	44.1	-1.40	25.1					
19.60	7.140	24.9	60.2	22.7	24.2	30.9	31.2	32.8	43.1	57.9
		62.4	65.0	19.0	10.7	.700	24.6	49.7	30.5	31.9
		29.2	29.8	31.4	41.7	52.6	52.7	52.8	53.0	52.7
		1.50	46.2	0.00	27.2					
		1.40	44.0	-1.00	25.0					
19.68	7.140	24.9	56.6	22.3	23.7	31.0	31.2	32.8	43.2	57.8
		62.4	64.8	19.0	19.6	.800	24.3	47.6	29.8	31.3
		29.2	29.8	31.2	42.1	52.5	52.6	52.8	53.0	52.6
		1.40	46.2	0.00	27.2					
		1.50	44.0	0.00	25.0					
19.76	7.140	24.6	53.5	22.0	23.3	31.0	31.1	32.8	43.4	57.7
		62.3	64.6	19.1	20.2	.700	24.0	45.7	29.3	30.7
		29.2	29.7	31.3	42.4	52.5	52.6	52.7	53.0	52.6
		1.30	46.1	-1.00	27.0					
		1.40	44.0	0.00	24.9					
19.85	7.140	24.5	51.0	21.8	23.0	30.9	31.1	32.7	43.4	57.7
		62.3	64.3	19.1	23.2	.600	23.7	44.1	28.9	30.2
		29.2	29.7	31.3	42.5	52.4	52.5	52.7	52.9	52.5
		1.20	46.1	0.00	27.0					
		1.30	44.0	0.00	24.9					
19.93	7.140	24.3	48.8	21.7	22.8	30.9	31.1	32.7	43.4	57.7
		62.2	64.2	19.1	30.3	.600	23.5	42.7	28.6	29.7
		29.2	29.8	31.3	42.6	52.3	52.5	52.7	52.8	52.5
		1.10	46.0	-1.00	26.9					
		1.10	44.0	0.00	24.9					
20.01	7.140	24.2	47.0	21.5	22.8	30.9	31.2	32.7	43.5	57.7
		62.1	64.0	18.7	25.9	.600	23.3	41.4	28.2	29.3
		29.2	29.9	31.3	42.8	52.2	52.4	52.6	52.7	52.5
		1.30	46.0	0.00	27.3					
		1.10	44.0	0.00	25.3					

20.53 7.140	23.9	42.5	21.5	22.3	31.1	31.2	32.9	43.7	57.5
	62.0	63.6	19.1	10.8	.700	22.7	37.3	27.1	27.7
	29.2	29.8	31.3	42.9	51.7	52.0	52.4	52.6	52.3
	.800	46.0	0.00	26.9					
	.600	43.8	-.200	24.7					
21.03 7.140	23.5	38.4	21.2	21.5	30.9	31.2	33.1	43.9	57.1
	61.8	63.0	19.5	.700	.700	21.9	32.5	25.5	25.8
	29.2	29.9	31.3	42.9	51.1	51.6	52.2	52.4	52.1
	.300	45.9	-.100	26.4					
	.300	43.6	-.200	24.1					
21.53 7.140	23.3	36.6	20.7	21.0	30.9	31.2	33.3	44.2	56.8
	61.7	62.5	19.2	9.80	.700	21.3	29.0	24.2	24.3
	29.2	29.9	31.5	42.9	50.5	51.2	52.0	52.2	51.8
	.300	45.8	-.100	26.6					
	.100	43.5	-.100	24.3					
22.05 7.140	23.0	35.6	20.4	20.5	30.6	31.2	33.5	44.1	56.3
	61.3	61.9	19.2	0.00	.600	20.8	26.5	23.2	23.2
	29.1	29.9	31.5	42.8	49.9	50.8	51.7	51.9	51.6
	.100	45.6	-.200	26.4					
	0.00	43.2	-.300	24.0					
22.53 7.140	22.8	35.1	19.9	20.0	30.5	31.2	33.7	44.2	55.9
	61.0	61.5	18.8	0.00	.700	20.5	24.7	22.4	22.3
	29.0	30.0	31.7	42.8	49.5	50.5	51.5	51.7	51.4
	.100	45.4	-.200	26.6					
	-.100	43.1	-.100	24.3					
23.03 7.140	22.6	34.6	19.5	19.6	30.3	31.2	33.9	44.2	55.6
	60.7	61.0	19.2	0.00	.700	20.1	23.3	21.6	21.4
	29.0	29.9	31.7	42.6	49.0	50.1	51.2	51.4	51.1
	.100	45.3	-.100	26.1					
	-.200	42.9	-.200	23.7					
23.55 7.140	22.6	34.3	19.3	19.4	30.2	31.2	34.1	44.2	55.2
	60.4	60.7	19.1	0.00	.600	19.9	22.3	21.1	20.9
	29.0	29.9	31.9	42.5	48.6	49.8	51.0	51.2	50.8
	.100	45.1	-.200	26.0					
	-.200	42.7	-.200	23.6					

B VI. Die Meßdaten vom 15. Juli 1982 (Verbrauchsprofil 2)

.0300	7.150	22.5	34.3	19.3	19.3	30.1	31.3	34.4	44.5	55.1
		60.3	60.5	18.9	0.00	.600	19.8	21.7	20.8	20.5
		29.1	30.1	32.1	42.6	48.4	49.6	50.9	51.1	50.7
		0.00	45.2	.100	26.3					
		-.300	42.7	0.00	23.8					
.5300	7.150	22.3	34.0	18.9	19.0	29.9	31.2	34.5	44.3	54.6
		59.8	59.9	18.4	0.00	.600	19.5	20.9	20.2	19.9
		28.9	29.9	32.0	42.2	47.9	49.1	50.4	50.6	50.3
		.100	44.9	-.300	26.5					
		-.300	42.4	-.300	24.0					
1.050	7.150	22.0	33.8	18.7	18.8	29.8	31.2	34.6	44.2	54.3
		59.5	59.6	18.3	0.00	.600	19.2	20.4	19.8	19.6
		28.7	29.9	32.1	42.1	47.5	48.8	50.1	50.4	50.0
		.100	44.7	-.200	26.4					
		-.200	42.2	-.200	23.9					
1.530	7.150	21.7	33.4	18.3	18.4	29.7	31.2	34.7	44.2	54.0
		59.2	59.2	17.8	0.00	.600	19.0	19.8	19.4	19.2
		28.7	29.9	32.1	41.9	47.1	48.4	49.8	50.0	49.7
		.100	44.6	-.100	26.8					
		-.200	42.0	-.200	24.2					
2.030	7.150	21.6	33.1	18.1	18.2	29.5	31.2	35.0	44.2	53.8
		58.9	58.9	17.8	0.00	.600	18.7	19.4	19.1	18.9
		28.7	30.0	32.3	41.8	46.9	48.2	49.6	49.8	49.5
		.100	44.5	-.100	26.7					
		-.200	41.9	-.100	24.1					
2.550	7.150	21.4	33.0	17.9	18.1	29.5	31.3	35.1	44.3	53.6
		58.6	58.6	17.8	0.00	.600	18.6	19.2	18.9	18.7
		28.8	30.0	32.5	41.8	46.7	48.0	49.3	49.6	49.3
		.200	44.4	-.100	26.6					
		-.200	41.8	-.100	24.0					
3.030	7.150	21.4	32.8	17.9	18.0	29.4	31.3	35.3	44.3	53.3
		58.3	58.2	17.8	0.00	.600	18.4	18.9	18.6	18.5
		28.7	30.0	32.5	41.6	46.4	47.7	49.1	49.3	49.1
		.100	44.3	-.100	26.5					
		-.100	41.6	-.200	23.8					
3.530	7.150	21.2	32.5	17.6	17.8	29.3	31.3	35.4	44.3	53.0
		57.9	57.9	17.6	0.00	.600	18.2	18.6	18.3	18.2
		28.5	30.0	32.6	41.5	46.1	47.5	48.9	49.1	48.8
		.200	44.2	-.100	26.6					
		-.100	41.4	-.200	23.8					
4.030	7.150	21.1	32.3	17.5	17.6	29.2	31.2	35.4	44.3	52.7
		57.6	57.6	17.4	0.00	.600	17.9	18.3	18.0	17.9
		28.4	29.9	32.5	41.2	45.8	47.1	48.5	48.7	48.4
		.100	44.0	-.200	26.6					
		-.100	41.2	-.200	23.8					
4.530	7.150	20.9	32.1	17.2	17.4	29.0	31.1	35.5	44.2	52.4
		57.2	57.2	17.3	0.00	.600	17.7	18.1	17.9	17.6
		28.4	29.9	32.5	41.1	45.5	46.8	48.2	48.5	48.2
		.200	43.8	-.200	26.5					
		-.300	41.0	-.200	23.7					
5.030	7.150	20.9	32.1	17.4	17.6	29.0	31.2	35.6	44.1	52.2
		56.9	56.9	17.5	0.00	.600	17.6	17.9	17.7	17.6
		28.4	30.0	32.6	41.1	45.3	46.6	48.0	48.2	47.9
		.200	43.7	-.100	26.2					
		-.100	40.9	-.100	23.4					
5.530	7.150	20.8	31.6	17.5	17.6	28.8	31.1	35.6	44.0	51.9
		56.6	56.5	17.7	0.00	.700	17.7	17.9	17.7	17.6
		28.3	30.0	32.7	40.8	45.1	46.4	47.7	47.9	47.6
		.100	43.5	-.200	25.8					
		-.100	40.7	-.200	23.0					
6.030	7.150	20.6	31.0	17.4	17.6	28.7	31.0	35.7	44.0	51.7
		56.2	56.1	17.7	.300	.600	17.7	17.9	17.7	17.6
		28.1	30.0	32.7	40.8	44.9	46.2	47.5	47.7	47.4
		.200	43.3	-.200	25.6					
		-.100	40.6	-.100	22.9					
6.530	7.150	20.1	30.8	17.3	17.6	28.6	31.0	35.8	44.0	51.4
		55.9	55.8	17.5	13.9	.600	17.6	17.8	17.6	17.6
		28.1	30.0	32.7	40.7	44.7	46.0	47.3	47.5	47.2
		.300	43.2	-.100	25.7					
		0.00	40.5	-.100	23.0					
7.050	7.150	20.1	30.7	17.7	17.8	28.4	31.0	35.8	43.8	51.1
		55.5	55.4	17.8	46.0	.600	17.5	17.8	17.5	17.5
		28.0	30.0	32.7	40.5	44.4	45.6	46.9	47.2	46.8
		.100	43.0	-.200	25.2					
		0.00	40.2	-.300	22.4					
7.530	7.150	20.4	30.9	18.6	18.9	28.4	30.9	35.8	43.6	50.9
		55.2	55.1	18.1	46.0	.600	17.8	17.9	17.8	18.3
		28.0	29.9	32.7	40.4	44.2	45.4	46.7	46.9	46.6
		.300	42.8	-.200	24.7					
		.500	40.1	-.100	22.0					
7.860	7.150	21.1	31.2	19.8	20.7	28.4	31.0	35.8	43.7	50.6
		54.9	54.8	18.4	59.0	.600	18.1	18.3	18.3	20.4
		28.0	30.0	32.8	40.3	44.0	45.2	46.5	46.7	46.5
		.900	42.7	-.100	24.3					
		2.10	40.0	-.100	21.6					
7.950	7.150	21.5	33.1	20.1	20.9	28.5	30.7	35.3	43.1	50.1
		54.7	54.9	18.6	59.4	.700	18.3	18.3	18.6	20.9
		28.0	30.0	32.8	40.4	44.0	45.2	46.5	46.7	46.5
		.800	42.5	-.200	23.9					
		2.30	40.0	0.00	21.4					
8.030	7.150	25.9	51.8	20.2	21.1	28.8	29.3	30.8	38.4	45.6
		53.1	55.0	18.7	76.7	.700	18.3	18.4	18.7	21.2
		27.9	30.0	32.8	40.4	44.8	45.2	46.5	46.7	46.5
		.900	40.1	-2.40	21.4					
		2.50	40.0	0.00	21.3					
8.110	7.150	26.0	52.9	20.4	21.4	28.6	28.9	29.8	34.0	41.5
		49.7	53.3	18.7	105.	.700	18.3	18.5	18.9	21.5
		28.0	30.0	32.9	40.4	44.0	45.2	46.5	46.7	46.4
		1.00	38.0	-2.10	19.3					
		2.60	40.0	0.00	21.3					
8.200	7.150	26.7	48.3	20.6	21.8	28.4	28.3	28.5	28.7	28.6
		38.3	46.4	18.9	123.	.700	18.5	18.5	19.1	21.8
		27.9	30.0	32.8	40.2	43.8	45.0	46.3	46.6	46.2
		1.20	32.5	-5.50	13.6					
		2.70	39.9	-.100	21.0					
8.279	7.150	26.2	44.8	21.0	22.3	28.3	28.3	28.4	28.5	27.8
		37.4	46.0	19.2	97.0	.700	21.2	42.7	19.4	22.3
		27.6	29.3	32.2	39.4	43.1	44.7	46.4	46.7	45.9
		1.30	32.1	-.400	12.9					
		2.90	39.5	-.400	20.3					

8.360	7.150	25.7	43.2	21.3	22.6	28.3	28.2	28.3	28.5	27.8
		37.2	45.6	19.2	72.7	.600	25.4	46.2	19.9	23.0
		26.2	27.1	28.6	33.1	36.8	40.7	44.6	45.9	45.2
		1.30	32.0	-1.00	12.8					
8.450	7.150	3.10	36.5	-3.00	17.3					
		25.3	41.8	21.5	22.9	28.3	28.3	28.4	28.5	28.0
		37.2	45.3	19.4	47.0	.600	25.1	43.5	21.1	23.7
		25.8	26.2	27.4	28.3	28.7	32.6	36.6	41.6	43.8
8.530	7.150	1.40	32.0	0.00	12.6					
		2.60	32.3	-4.20	12.9					
		24.7	40.5	22.0	22.8	28.0	28.2	28.3	28.4	27.9
		37.0	45.0	19.2	23.4	.600	24.8	42.0	22.7	24.2
8.609	7.150	25.9	26.7	27.3	27.0	27.1	28.5	29.9	36.7	40.5
		.800	31.8	-2.00	12.6					
		1.50	30.0	-2.30	10.8					
		23.7	41.1	24.0	22.2	27.9	28.1	28.2	28.4	27.9
8.700	7.150	37.0	44.6	19.0	5.90	.800	24.7	40.9	23.8	24.5
		25.9	26.7	27.2	27.0	26.9	28.2	29.6	36.3	40.2
		-1.80	31.7	-1.00	12.7					
		.700	29.8	-2.00	10.8					
8.780	7.150	22.9	40.6	23.9	22.0	27.8	28.1	28.2	28.4	27.9
		36.8	44.4	19.1	7.10	.900	24.4	39.5	23.8	24.3
		25.9	26.6	27.2	26.9	26.9	28.2	29.6	36.2	40.1
		-1.90	31.7	0.00	12.6					
8.780	7.150	.500	29.7	-1.00	10.6					
		22.3	39.9	23.9	21.9	27.7	28.0	28.2	28.5	28.0
		36.8	44.2	18.9	24.6	.700	24.1	38.2	23.6	24.1
		25.9	26.6	27.1	26.9	26.9	28.2	29.6	36.2	40.1
8.860	7.150	-2.00	31.6	-1.00	12.7					
		.500	29.7	0.00	10.8					
		21.6	39.3	23.6	21.8	27.7	28.0	28.2	28.4	27.9
		36.8	43.9	18.8	49.9	.600	23.8	36.9	23.4	23.9
9.380	7.150	25.8	26.6	27.1	26.8	26.8	28.2	29.7	36.2	40.0
		-1.80	31.6	0.00	12.8					
		.500	29.7	0.00	10.9					
		21.0	36.3	23.5	23.7	27.4	28.0	28.2	28.4	28.1
9.880	7.150	36.6	43.2	18.9	172.	.700	23.6	33.3	24.5	25.3
		25.9	26.6	27.1	26.8	26.8	28.2	29.6	36.1	39.7
		.200	31.4	-2.00	12.5					
		.800	29.6	-1.00	10.7					
10.38	7.150	26.1	37.3	25.1	38.6	27.4	27.9	28.2	28.4	28.7
		37.2	42.0	20.5	436.	.700	22.6	29.5	26.3	30.2
		26.4	26.6	27.1	27.1	27.8	29.1	30.5	34.8	39.3
		13.5	31.4	0.00	10.9					
10.88	7.150	3.90	29.9	.300	9.40					
		27.7	43.5	27.9	44.0	27.4	28.0	28.2	28.6	31.3
		39.5	43.1	21.7	359.	.700	23.7	27.8	27.0	31.5
		26.7	27.0	28.0	30.1	31.1	31.5	31.9	33.1	38.8
11.38	7.150	16.1	32.3	.900	10.6					
		4.50	30.9	1.00	9.19					
		27.7	40.4	27.9	41.3	27.4	27.9	28.2	29.2	34.0
		41.0	41.2	21.4	267.	.700	24.0	26.7	27.2	30.9
11.88	7.150	27.4	28.6	30.5	31.2	31.2	31.3	31.5	32.7	38.1
		13.4	32.7	.400	11.3					
		3.70	31.4	.500	10.0					
		27.7	42.4	28.0	43.4	27.6	27.9	28.3	30.4	36.3
12.38	7.150	41.0	42.1	21.9	403.	.700	24.4	26.1	28.1	32.2
		29.8	30.8	31.3	31.1	31.1	31.3	31.6	33.0	37.2
		15.4	33.4	.700	11.5					
		4.10	31.9	.500	10.0					
12.88	7.150	27.8	49.8	28.1	50.8	27.6	28.0	28.8	33.2	38.8
		41.2	49.0	23.2	725.	.800	25.5	26.0	30.8	36.3
		30.9	31.1	31.6	31.9	32.6	33.5	34.5	35.4	35.7
		22.7	35.2	1.80	12.0					
13.38	7.150	5.50	33.0	1.10	9.80					
		27.9	53.7	28.1	54.6	27.6	28.2	30.7	37.2	40.3
		44.3	53.0	24.3	861.	.800	27.0	24.3	31.6	38.3
		31.7	32.4	33.7	35.2	35.7	36.1	36.5	37.0	37.0
13.88	7.150	26.5	37.3	2.10	13.0					
		6.70	35.0	2.00	10.7					
		28.1	55.7	28.4	56.6	27.7	29.2	34.5	40.2	41.7
		50.4	55.0	24.9	907.	.800	28.2	26.9	33.7	40.3
13.88	7.150	34.9	35.6	36.5	36.9	37.2	37.5	37.9	38.5	38.8
		28.2	39.8	2.50	14.9					
		6.60	37.1	2.10	12.2					
		28.9	56.6	29.1	57.4	27.9	31.8	38.1	41.6	46.1
13.88	7.150	53.7	56.1	26.1	880.	.800	29.1	27.9	36.4	42.6
		36.8	37.2	38.0	38.6	39.1	39.7	40.3	41.0	41.2
		28.3	42.2	2.40	16.1					
		6.20	39.1	2.00	13.0					
13.53	7.150	30.1	58.9	30.2	59.9	28.2	34.3	39.8	42.9	49.6
		54.8	58.1	26.7	978.	.900	29.8	28.7	37.5	44.1
		37.8	38.3	39.4	40.5	40.7	41.2	41.7	42.4	42.6
		29.7	44.0	1.80	17.3					
13.60	7.150	6.60	40.5	1.40	13.8					
		30.6	59.2	30.6	60.2	28.2	35.0	40.2	43.5	50.4
		54.9	58.4	26.7	969.	.900	30.0	34.2	37.8	44.3
		38.1	38.8	40.0	40.9	41.0	41.6	42.2	42.9	43.0
13.70	7.150	29.6	44.4	.400	17.7					
		6.50	40.9	.400	14.2					
		31.1	59.5	31.0	60.4	28.3	35.6	40.5	44.2	51.0
		55.0	58.7	27.1	980.	.800	26.7	41.9	35.7	44.1
13.78	7.150	35.7	37.2	40.2	41.2	40.7	40.7	40.7	41.0	42.4
		29.4	44.8	.400	17.7					
		8.40	40.0	-9.00	12.9					
		30.8	59.6	30.6	59.1	28.8	35.2	40.3	44.4	50.9
13.86	7.150	55.1	58.3	27.2	983.	.900	25.1	41.0	31.1	40.9
		30.6	31.1	34.5	40.6	39.9	39.9	39.9	40.2	40.4
		28.5	44.7	-1.00	17.5					
		9.80	37.5	-2.50	10.3					
13.95	7.150	24.6	47.7	24.0	35.1	27.7	28.6	31.5	40.3	43.4
		51.1	53.6	27.1	972.	1.00	23.9	40.6	29.0	38.2
		29.0	29.5	32.7	40.0	39.5	39.6	39.7	39.9	39.8
		11.1	39.5	-5.20	12.4					
14.03	7.150	9.19	36.6	-9.00	9.50					
		24.2	43.2	25.6	35.8	27.0	27.5	29.1	38.9	41.6
		49.1	52.7	27.2	970.	.900	23.5	40.3	28.7	37.7
		28.4	28.9	32.8	39.7	39.3	39.3	39.4	39.7	40.7
14.11	7.150	10.2	38.0	-1.50	10.8					
		9.00	36.5	-1.00	9.30					
		26.8	51.7	26.3	57.2	27.0	27.5	29.3	39.4	41.9
		49.9	54.7	27.4	977.	1.00	21.4	39.3	26.1	36.2
14.11	7.150	25.6	26.1	27.7	35.9	38.3	38.4	38.5	38.7	40.1
		30.9	38.5	.500	11.1					
		10.1	34.4	-2.10	7.00					
		22.7	50.4	22.0	41.1	25.0	25.7	26.6	32.5	39.2
14.11	7.150	45.0	48.5	27.2	981.	1.00	20.5	38.7	24.4	33.8
		24.2	24.8	26.7	30.0	36.6	37.0	37.5	37.9	37.8
		19.1	34.6	-3.90	7.40					
		9.40	32.5	-1.90	5.30					

14.20 7.150	20.2	36.0	21.0	29.5	23.5	23.5	24.3	27.3	34.4
	41.2	45.7	27.4	979.	.900	20.9	38.2	24.3	33.4
	24.2	25.5	26.8	35.3	36.1	36.3	36.6	37.6	37.6
	8.50	31.4	-3.20	4.00					
	9.10	32.9	.400	5.50					
14.28 7.150	22.8	43.9	22.2	50.3	23.5	23.5	24.4	27.6	35.1
	41.4	47.5	27.4	982.	.900	21.5	37.6	24.4	33.4
	24.7	26.0	27.1	35.6	35.7	35.8	36.0	37.5	37.6
	28.1	31.9	.500	4.50					
	9.00	32.9	0.00	5.50					
14.35 7.150	23.2	54.2	23.7	55.0	23.5	23.5	24.6	28.1	36.3
	41.8	53.9	27.6	970.	1.00	22.0	37.0	24.5	33.6
	25.5	26.3	28.7	35.4	35.4	35.5	35.6	37.0	37.6
	31.3	33.1	1.20	5.50					
	9.10	33.0	.100	5.40					
14.45 7.150	23.4	53.0	23.9	53.7	23.6	23.5	24.8	28.6	37.3
	42.2	52.6	27.6	973.	1.00	22.6	36.4	24.8	33.8
	26.0	26.8	34.0	35.3	35.2	35.2	35.3	36.2	37.6
	29.8	33.2	.100	5.60					
	9.00	33.5	.500	5.90					
14.53 7.150	23.4	53.4	23.9	54.2	23.7	23.7	25.1	29.4	38.0
	42.7	52.7	27.7	973.	1.00	23.1	35.9	25.2	34.1
	26.3	29.9	35.1	35.2	35.1	35.1	35.2	35.7	37.6
	30.3	33.6	.400	5.90					
	8.90	33.9	.400	6.20					
15.05 7.150	23.6	53.7	24.2	54.4	23.8	24.0	26.4	33.0	39.9
	45.8	53.0	27.7	939.	1.00	24.6	34.7	28.4	36.2
	32.8	34.6	35.2	35.2	35.1	35.2	35.3	35.9	36.8
	30.2	35.1	1.50	7.40					
	7.80	35.1	1.20	7.40					
15.55 7.150	24.0	54.1	24.7	54.8	24.1	25.1	29.7	38.5	42.6
	51.6	53.4	28.1	888.	1.00	26.3	33.9	34.8	40.9
	34.7	34.9	35.5	36.0	36.5	37.4	38.3	39.3	39.5
	30.1	37.9	2.80	9.80					
	6.10	36.9	1.80	8.80					
16.05 7.150	24.9	52.3	25.5	52.9	24.4	27.1	34.4	41.4	47.1
	52.7	52.5	27.8	679.	1.00	27.2	33.4	35.4	40.9
	35.4	36.2	37.6	39.4	39.8	40.0	40.3	40.7	40.6
	27.4	39.9	2.00	12.1					
	5.50	38.9	2.00	11.1					
16.55 7.150	26.2	53.5	26.7	54.5	24.9	30.0	38.2	44.1	50.6
	52.5	52.9	27.8	745.	1.10	27.8	32.9	37.0	42.4
	38.4	39.3	40.2	40.4	40.4	40.6	40.8	41.3	41.4
	27.8	41.9	2.00	14.1					
	5.40	40.3	1.40	12.5					
17.05 7.150	28.4	52.8	28.7	53.6	25.6	33.7	40.9	47.7	51.7
	52.5	52.4	27.8	569.	1.00	28.2	32.7	39.7	44.0
	39.9	40.1	40.8	41.1	41.4	41.9	42.4	43.0	43.0
	24.9	43.5	1.60	15.7					
	4.30	41.5	1.20	13.7					
17.55 7.150	30.2	46.4	30.1	47.7	26.7	36.0	42.5	49.8	51.5
	51.7	50.1	26.1	222.	1.00	28.4	32.1	40.1	42.2
	40.3	40.7	41.5	42.1	42.4	42.6	42.8	43.4	43.3
	17.6	44.0	.500	17.9					
	2.10	42.1	.600	16.0					
18.05 7.150	30.4	45.9	31.6	43.8	28.0	36.9	43.5	50.7	51.2
	51.5	50.8	25.1	68.7	.900	28.2	31.0	39.3	40.7
	40.6	41.0	41.9	42.4	42.3	42.4	42.5	43.3	43.2
	12.2	44.7	.700	19.6					
	1.40	42.2	.100	17.1					
18.55 7.150	28.4	48.0	32.7	36.3	28.9	36.8	43.6	50.5	51.1
	51.6	51.7	22.0	57.8	.800	27.2	29.1	35.9	37.8
	40.6	40.9	41.8	42.3	42.3	42.4	42.6	43.3	43.1
	3.60	44.9	.200	22.9					
	1.90	42.2	0.00	20.2					
19.05 7.150	26.5	40.5	28.7	33.0	29.5	36.7	43.6	50.2	51.0
	51.5	51.3	21.2	97.8	.800	26.8	27.4	33.2	34.4
	40.5	40.8	41.8	42.2	42.3	42.4	42.5	43.2	42.9
	4.30	44.8	-.100	23.6					
	1.20	42.1	-.100	20.9					
19.55 7.150	25.3	36.0	26.5	29.7	29.7	36.5	43.4	49.9	50.7
	51.3	51.1	22.0	40.3	1.00	25.0	26.2	30.9	31.5
	40.4	40.9	41.8	42.1	42.3	42.4	42.6	43.1	42.7
	3.20	44.7	-.100	22.7					
	.600	42.0	-.100	20.0					
20.05 7.150	24.9	33.7	25.6	28.2	29.9	36.4	43.4	49.7	50.6
	51.2	50.9	22.5	85.9	1.00	24.4	25.3	29.8	29.6
	40.4	40.9	41.7	42.1	42.2	42.4	42.6	42.9	42.5
	2.60	44.6	-.100	22.1					
	.600	42.0	0.00	19.5					
20.55 7.150	25.0	32.7	25.7	27.5	30.0	36.2	43.3	49.4	50.3
	51.0	50.9	22.1	37.9	.900	24.1	24.8	27.8	28.8
	40.2	40.7	41.6	41.9	42.1	42.2	42.4	42.6	42.3
	1.80	44.4	-.200	22.3					
	1.00	41.8	-.200	19.7					
21.05 7.150	24.9	32.2	24.7	26.1	30.2	36.3	43.4	49.3	50.3
	50.9	50.9	21.7	21.6	1.00	23.7	24.4	26.6	27.3
	40.0	40.7	41.4	41.7	41.9	42.0	42.2	42.4	42.8
	1.40	44.5	.100	22.8					
	.700	41.6	-.200	19.9					
21.55 7.150	24.3	31.6	23.3	24.4	30.3	36.3	43.2	49.1	50.1
	50.8	50.5	21.2	4.50	1.00	23.1	23.7	25.4	26.8
	39.8	40.5	41.4	41.8	41.9	42.0	42.1	42.2	41.9
	1.10	44.3	-.200	23.1					
	.600	41.5	-.100	20.3					
22.05 7.150	23.8	31.1	22.0	22.8	30.4	36.2	43.1	48.9	49.9
	50.5	50.2	20.4	0.00	.900	22.5	22.9	24.3	25.8
	39.7	40.4	41.3	41.7	41.9	41.9	41.9	42.1	41.8
	.800	44.2	-.100	23.8					
	.700	41.4	-.100	21.0					
22.55 7.150	23.3	30.6	20.8	21.4	30.4	36.0	43.1	48.7	49.7
	50.3	50.0	19.0	-6.00	.700	21.7	22.2	23.3	24.0
	39.4	40.4	41.1	41.6	41.7	41.7	41.8	41.9	41.6
	.600	44.0	-.200	25.0					
	.700	41.3	-.200	22.3					
23.10 7.150	22.4	29.5	18.9	19.3	30.5	35.9	42.7	48.3	49.3
	50.0	49.6	18.3	0.00	.800	20.5	20.8	21.7	22.4
	39.1	40.1	41.0	41.3	41.4	41.4	41.4	41.5	41.3
	.400	43.8	-.200	25.5					
	.700	40.9	-.400	22.6					
23.18 7.150	22.4	29.6	18.8	19.2	30.6	35.9	42.8	48.3	49.3
	49.9	49.7	18.1	-7.10	.700	20.4	24.3	21.5	22.2
	39.0	40.0	40.8	41.2	41.3	41.3	41.3	41.5	41.1
	.400	43.8	0.00	25.7					
	.700	40.8	-.100	22.7					

23.26	7.150	22.3	29.4	18.7	19.0	30.6	36.0	42.7	48.2	49.3
		50.0	49.6	18.0	-7.00	.700	22.6	41.0	21.4	22.1
		35.7	37.8	40.7	41.2	41.3	41.3	41.3	41.5	40.1
		.300	43.8	0.00	25.8					
		.700	40.1	-.700	22.1					
23.35	7.150	22.4	29.5	18.6	18.9	30.7	36.0	42.7	48.3	49.3
		49.9	49.6	18.1	0.00	.700	23.9	40.8	21.4	21.7
		29.4	30.4	34.9	40.6	40.5	40.5	40.5	40.7	39.8
		.300	43.8	0.00	25.7					
		.300	37.5	-2.60	19.4					
23.43	7.150	22.0	37.5	18.4	18.7	28.7	31.9	39.2	46.2	48.5
		49.8	49.7	17.9	-1.90	.700	22.9	40.4	21.7	21.1
		26.9	27.2	28.4	38.7	40.0	40.0	40.0	40.2	39.7
		.300	42.0	-1.80	24.1					
		-.600	35.7	-1.80	17.8					
23.51	7.150	22.5	49.5	18.3	18.6	26.4	26.7	27.5	32.4	42.9
		48.0	49.5	17.8	-1.80	.700	22.4	39.7	22.3	20.7
		26.3	26.6	27.5	35.6	39.7	39.7	39.7	39.9	39.5
		.300	36.2	-5.80	18.4					
		-1.60	34.9	-.800	17.1					
23.60	7.150	22.4	48.6	18.1	18.6	26.2	26.2	26.7	28.3	41.4
		47.3	49.6	18.1	0.00	.600	22.3	39.8	22.2	20.5
		25.6	26.1	26.9	30.0	35.8	37.6	39.5	39.7	38.7
		.500	35.1	-1.10	17.0					
		-1.70	33.3	-1.60	15.2					
23.68	7.150	22.1	46.5	18.1	18.4	26.2	26.2	26.8	28.5	41.4
		47.3	49.4	18.1	0.00	.600	22.0	39.2	22.3	20.1
		24.8	25.3	26.0	26.2	26.4	30.7	35.1	39.0	38.5
		.300	35.1	0.00	17.0					
		-2.20	30.2	-3.10	12.1					
23.76	7.150	21.2	46.8	18.1	18.3	24.9	25.2	25.7	26.8	33.8
		43.8	47.3	17.8	0.00	.600	21.1	37.8	22.3	19.9
		24.4	24.7	25.5	25.4	25.4	25.5	25.6	29.9	37.6
		.200	32.5	-2.60	14.7					
		-2.40	27.1	-3.10	9.30					
23.85	7.150	19.8	43.4	18.0	18.3	23.2	23.2	23.5	23.9	24.3
		29.0	42.1	17.3	-1.80	.600	20.5	36.8	22.0	19.9
		24.1	24.7	25.2	25.1	25.2	25.2	25.3	26.9	37.0
		.300	27.0	-5.50	9.70					
		-2.10	26.5	-.600	9.19					
23.93	7.150	19.5	40.8	17.7	18.2	23.2	23.0	23.3	23.7	24.0
		27.9	41.6	17.3	-10.1	.600	20.4	35.8	21.7	20.0
		24.1	24.6	25.2	25.1	25.1	25.2	25.3	27.3	36.9
		.500	26.7	-.300	9.40					
		-1.70	26.5	0.00	9.19					
24.010	7.160	19.6	39.4	17.6	17.9	23.2	22.9	23.4	23.7	24.0
		28.0	41.3	17.1	-10.1	.600	20.4	34.8	21.4	20.2
		24.1	24.7	25.3	25.1	25.1	25.2	25.3	27.6	36.8
		.300	26.6	-.100	9.50					
		-1.20	26.6	.100	9.50					
24.100	7.160	19.6	38.1	17.5	17.8	23.1	22.9	23.3	23.7	23.9
		28.0	41.0	16.8	-10.1	.600	20.2	33.6	21.1	20.2
		24.1	24.6	25.3	25.1	25.1	25.2	25.3	27.9	36.7
		.300	26.6	0.00	9.80					
		-.900	26.6	0.00	9.80					

REIHE ANGEWANDTE SYSTEMANALYSE
DER PROGRAMMGRUPPE SYSTEMFORSCHUNG UND TECHNOLOGISCHE ENTWICKLUNG
KERNFORSCHUNGSANLAGE JÜLICH GMBH - KFA/STE

Nr. 1: Schmitz, K., Niehaus, F.⁺), Rath-Nagel, St., Voß, A.
Die Entwicklungsmöglichkeiten der Energiewirtschaft in
der Bundesrepublik Deutschland - Untersuchung mit Hilfe
eines dynamischen Simulationsmodells,
Jül-Spez-1, Bd. I, Nov. 1977

Schmitz, K., et al.
Die Entwicklungsmöglichkeiten der Energiewirtschaft in
der Bundesrepublik Deutschland - Untersuchung mit Hilfe
eines dynamischen Simulationsmodells,
Jül-Spez-1, Bd. II, Nov. 1977

Nr. 2: Bohn, Th., Eich, P., Hansen, U., Jehle, B.
Künftige Stromgestehungskosten von Großkraftwerken,
Jül-Spez-2, Nov. 1977

Nr. 3: Wibbe, H.-B.
Probleme der kurzfristigen Markteinführung eines
nuklearen Fernenergiesystems - eine Betrachtung aus
Abnehmersicht für einen räumlich begrenzten Markt,
Jül-1486, Feb. 1978

Nr. 4: Jehle, B.
Einsatzmöglichkeiten und Einsatzbeispiele der Kern-
energie in NRW unter besonderer Berücksichtigung ihres
Beitrags zur Strukturverbesserung,
Jül-Spez-11, Juni 1978

Nr. 5: Hensel, W.
Beitrag zur Standardisierung der Standortbestimmung von
Kernkraftwerken,
Jül-Spez-12, Juni 1978

Nr. 6: v. Lojewski, D.
Wärme-, Strom- und Synthesegasversorgung von Ballungs-
räumen durch Fernenergie - aufgezeigt am Großraum Köln,
Jül-1516, Juni 1978

Nr. 7: Lenhardt, W.
Entwicklung des Strombedarfs in der Bundesrepublik
Deutschland und alternative Möglichkeiten seiner
Deckung,
Jül-Spez-18, Juli 1978

REIHE ANGEWANDTE SYSTEMANALYSE

- Nr. 8: Kolb, G. (Redaktion)
gemeinsam mit KFA/IRE, KFA/PTH, HRB, GHT
Studie über die Wirtschaftlichkeit der Stromerzeugung
mit Hochtemperatur-Reaktoren,
Jül-1527, Aug. 1978
- Nr. 9: Meliß, M.
Möglichkeiten und Grenzen der Sonnenenergienutzung in
der Bundesrepublik Deutschland mit Hilfe von Nieder-
temperaturkollektoren - Grundlagen, Technische Systeme,
Wirtschaftlichkeit;
Jül-Spez-25, Dez. 1978
- Nr. 10: Wagner, H.J.
Der Energieaufwand zum Bau und Betrieb ausgewählter
Energieversorgungstechnologien - eine nettoenergetische
Analyse,
Jül-1561, Dez. 1978
- Nr. 11: Bartholdi, J.
Einführung der Nuklearen Fernenergie - umweltbedeutsame
Konsequenzen und deren Bewertung,
Jül-1573, Jan. 1979
- Nr. 12: Egberts, G.
Kostenoptimale Entwicklungsperspektiven des Raum-
heizungssektors im Energiesystem der Bundesrepublik
Deutschland,
Jül-Spez-41, Juni 1979
- Nr. 13: Düring, K.
Transport- und Verteilungskosten konventioneller
Systeme zur Wärmeversorgung der Bundesrepublik
Deutschland,
Jül-Spez-57, Okt. 1979
- Nr. 14: Leimkühler, K.
Metallische Rohstoffe - Rezyklierung - Energieeinsatz.
Untersuchung mit Hilfe eines Simulationsmodells,
Jül-Spez-44, Juli 1979
- Nr. 15: Lenhardt, W., Schwefel, H.P., Sievert, D., et al.
Ein Energieversorgungsmodell zur Langfristprognose der
Umwandlungskapazitäten,
Jül-Spez-63, Dez. 1979
- Nr. 16: Kollmann, H.
Die räumliche Wärmebedarfsverteilung der Haushalte und
Kleinverbraucher in der Bundesrepublik Deutschland,
Jül-Spez-64, Dez. 1979

REIHE ANGEWANDTE SYSTEMANALYSE

- Nr. 17: Orth, D.
Niedertemperatur-Wärmeversorgung unter besonderer
Berücksichtigung ausgewählter neuer Technologien,
Jül-Spez-65, Dez. 1979
- Nr. 18: Manthey, Ch. (editor)
Energy Technology Data Handbook - Conversion
Technologies,
Jül-Spez-70, Vol. I, Jan. 1980
- Nr. 19: Manthey, Ch., Tosato, G.C.
Energy Technology Data Handbook - End Use Technologies.
Insulation, Space- and Water Heating Systems,
Jül-Spez-70, Vol. II, Okt. 1980
- Nr. 20: Hildebrandt, T.
Die nächsten 50 Jahre,
Analyse und Szenarium der wirtschaftlichen Evolution,
Jül-Spez-81, Juni 1980
- Nr. 21: Finnis, M.W.
Phase II - Final Report of MARKAL Studies for the
United Kingdom,
Jül-Spez-92, Okt. 1980
- Nr. 22: Scharff, E., Walbeck, M. (Federführung)
Planstudie: Halboffene Fernenergieversorgung, insbesondere
für den Raum Frankfurt a.M. mit Heißwasser-Fernwärmeversor-
gung für den Raum Köln,
JÜL-Spez-95, Dez. 1980
- Nr. 23: Costa, J.O., Gil Sordo, V., Blasco, M., Jara, A.
Energy Scenarios and Implementation of New Technologies
for Spain,
JÜL-Spez-110, April 1981
- Nr. 24: Jaek, W.
Mögliche Entwicklung des weltweiten Ausbaus der Kernenergie
unter Berücksichtigung wirtschaftlicher, gesellschaftlicher
und politischer Aspekte,
JÜL-Spez- 118, Juli 1981
- Nr. 25: Schmitz, J.
Abschätzung des energiesparenden Innovationspotentials der
Industrie Steine und Erden,
JÜL-1729, Aug. 1981

REIHE ANGEWANDTE SYSTEMANALYSE

- Nr. 26: Bansal, N.K., Uhlemann, R., Boettcher, A.
Plastic Solar Air Heaters of a Novel Design - Testing and
Performance,
JÜL-1783, April 1982
- Nr. 27: Höpfinger, E., Drepper, F., Heckler, R., Schwefel, H.P.
unter Mitarbeit von Hermes, U., Horst, H.
Die Entwicklungsmöglichkeiten der Energiewirtschaft in der
Bundesrepublik Deutschland - Untersuchungen mit Hilfe eines
zielgeführten dynamischen Simulationsmodells,
JÜL-Spez-166, Juli 1982
- Nr. 28: Grüter, J.W., Wolff, M.
Die Energieversorgung der Gemeinde Seedorf im Landkreis
Lüchow-Dannenberg, Niedersachsen - Eine Endenergieanalyse
JÜL-Spez-170, August 1982
- Nr. 29: Huber, W., Allhorn, H., Birnbaum, U.
Emissionen von Kohlenutzungsanlagen und mögliche Minderungs-
maßnahmen,
JÜL-1815, Nov. 1982
- Nr. 30: Müller, M., Maher, K.J., with contributions of Rath-Nagel, St.,
Tosato, G.C.
Summary Report on Technology Characterizations,
International Energy Agency: Energy Technology Systems
Analysis Project,
JÜL-Spez-185, Dez. 1982
- Nr. 31: Hildebrandt, T.
Wechselwirkungen zwischen Energiewirtschaft und Gesamt-
wirtschaft (Diss.)
JÜL-Spez-192, Dez. 1982
- Nr. 32: Huber, W., Höpfinger, E.
EFOM 12C CASE STUDIES - Candidate Technologies to Relieve
the EUROPEAN Energy System Germany,
EG Contract EM 2-067-D (B),
JÜL-Spez-193, EUR 8428 EN, Jan. 1983
- Nr. 33: Späte, F.
Bestimmung des thermischen Verhaltens von zwei Thermo-
siphonanlagen,
JÜL-Spez-194, Febr. 1983

Danksagung

Für die Möglichkeit, die Arbeit in der Programmgruppe Systemforschung und Technologische Entwicklung (STE) durchzuführen, danke ich Herrn Professor Dr. A. Voss sowie dem Leiter der Abteilung Regenerative Energiesysteme Herrn Dr. M. Meliss. Für die Betreuung der Arbeit an der FH Aachen, Abt. Jülich, bin ich Herrn Professor Dr. W. Bieger zu Dank verpflichtet. Mein besonderer Dank gilt den Herren Dr. R. Uhlemann und Dr. N.K. Bansal, die durch wertvolle Diskussionen und Anregungen maßgeblich zum Gelingen der Arbeit beigetragen haben.

Mein Dank gilt auch allen jenen, die durch ihren Arbeitseinsatz die Arbeit gefördert haben. Hier möchte ich insbesondere Herrn Britz, der durch seine Kenntnisse in der Kunststoffverarbeitung den Bau der Temperaturmeßstäbe ermöglichte, sowie Herrn Dipl.Ing. A. Weuthen und Herrn Dipl.Ing. H. Repschläger nennen, die mich bei der Arbeit mit der Datenerfassungsanlage wertvoll unterstützten. Für ihren Einsatz bei den Schreibarbeiten gilt mein Dank Frau Dering sowie Frau Bischoff.